

# インセンティブメカニズムとピアの参加離脱を考慮した ピース交換手法の検討

武田 苑子<sup>1,a)</sup> 梅田 沙也華<sup>1,b)</sup> 重野 寛<sup>1,c)</sup>

概要: P2P を用いたファイル共有ソフトの一つである BitTorrent では, 評価値を用いたインセンティブメカニズム (RBIM) が研究されている. 評価値とはピアの過去の送受信量からネットワークへの貢献度を数値化した値である. 評価値が高い程より速いダウンロードスピードを得られる. しかし, 従来の RBIM ではピアの参加離脱を考慮しておらず, ネットワーク全体でのダウンロード効率が低下するという問題がある. そこで, 本論文では, ピアの参加離脱が発生する環境においてピアの帯域利用を向上させ, ネットワーク全体でのダウンロード効率を向上させるためのピース交換手法 PEJL を提案する. まず, PEJL では RBIM において新規参加ピアのピース交換の交渉力が低いことに着目し, 新規参加ピアに希少なピースを優先提供することで交渉力を付与する. また, ピアの保持ピース数に応じてダウンロードの許可判断を行うことで, 離脱前にアップロード帯域をより有効に活用する. 提案手法の評価はシミュレーションにより行い, ピアの帯域を有効活用することで, ネットワーク全体でのファイル取得効率を向上しているという結果から PEJL の有用性を示す.

## Study for Piece Exchange Method Considering Incentive Mechanism and Peer Join and Leave

SONOKO TAKEDA<sup>1,a)</sup> SAYAKA UMEDA<sup>1,b)</sup> HIROSHI SHIGENO<sup>1,c)</sup>

### 1. はじめに

P2P を用いたファイル共有アプリケーションの一つに BitTorrent がある [1]. BitTorrent ではファイルをピースと呼ばれる単位に分割し, ピアと呼ばれる一般ユーザー間で協調してピースを交換し合うことでファイルを取得する. BitTorrent には様々な性能のピアが存在し, ピア間でピースの送受信のバランスを取るため, Tit for Tat と呼ばれる方式が採用されている [1]. Tit For Tat とは, ピアの 1 対 1 の関係において, 過去数秒間での自身に対する提供量の多いピアのダウンロード要求から順に応える概念である. これは, 短期的なファイル交換に適したアルゴリズムであり, 長期的なピースアップロードの動機付けにはならない [1]. また, ピースのアップロードに消極的なフリーライダーと

呼ばれるピアも存在する [6].

そこで, 評価値を用いてピースのアップロードを促進させるインセンティブメカニズム (RBIM) が研究されている [2], [3]. 評価値とは, ピア間の過去の送受信量から, ネットワーク全体に対する貢献度を数値化した値である. このメカニズムでは, 評価値の高いピア程より早いダウンロードスピードを享受出来る.

しかし, RBIM ではピアの参加離脱を考慮しておらず, ネットワーク全体でのダウンロード効率が低下するという問題がある. 原因として, 新規参加ピアのピース交換不参加問題, ピアの離脱によるピース拡散遅延問題の二つが挙げられる. まず, 新規に参加したピアに対する評価値は低い場合, 有効な帯域を保持しているにも関わらず, 参加初期段階において帯域を有効活用出来ない. 次に, 全てのピースを取得しファイルを完成させた後のピアは, すぐにネットワークから離脱してしまうということが報告されている [4], [5], [7]. この場合, 特定のピースの配信元が減少し, 拡散の遅れるピースが発生するため, 以後のピアの

<sup>1</sup> 慶應義塾大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Science and Technology, Keio University

a) takeda@mos.ics.keio.ac.jp

b) umeda@mos.ics.keio.ac.jp

c) shigeno@mos.ics.keio.ac.jp

ファイル取得効率が低下する。

そこで、本論文ではピアの参加離脱が発生する環境下においてピアの帯域利用を向上させ、ネットワーク全体でのダウンロード効率を向上させるピース交換手法 PEJL を提案する。提案手法では、まず新規参加ピアのピース交換不参加問題の対応として、新規参加ピアに対し普及の遅れている希少なピースを優先提供することで、交渉力を付与し、新規参加ピアの帯域を有効活用する。また、ピアの離脱によるピース拡散遅延問題の対応として、保持ピース数に応じた閾値を設定しダウンロードの許可判断を行うことで、ピアの離脱前によりピースをアップロードさせるようにし、拡散の遅れるピースの発生を防ぐ。以上二つの対応策から、ネットワーク全体でのダウンロード効率の向上を図る。

以下本論文では、2章において関連研究について述べ、3章で PEJL を提案し、4章でシミュレーション評価により提案手法の有効性を示す。最後に5章で結論を述べる。

## 2. 関連研究

本節では BitTorrent のメカニズムやアルゴリズムを説明し、フリーライダーへの対応策における関連研究を挙げ、評価値の算出方法や利用方法について述べる。

### 2.1 BitTorrent における Tit for Tat

BitTorrent とは、ピアの参加状況や ID 管理などをサーバが行い、実際のファイル交換はピア間のみで行うハイブリッド型 P2P システムである。各ピアは、全てのピースを収集することでファイルを完成させる。

BitTorrent では、ゲーム理論の一つである Tit for Tat 戦略を取り入れたチョークアルゴリズムを用いてピースの需給バランスを取っている [1]。P2P における Tit for Tat は、過去に相手が自身にアップロードし貢献した分だけ自身も相手に貢献するというものである。また、チョークアルゴリズムとはピア間で互いに対する貢献量を測定し、それに基づきピースの送信先を選択するものである。貢献量とは過去数秒間での取得データ量で表される。また、「チョークする」とはピースのアップロードを禁止することを示し、「アンチョークする」とはピースのアップロードを許可することを示す。BitTorrent では、一度に4つのピアに対しアンチョークを行い、この4つのピアの決定に関して基本的アンチョークと楽観的アンチョークの二つを用いる。

- 基本的アンチョーク  
ピースのダウンロード要求があったピアのうち過去30秒間での貢献量が多い順に3つのピアに対しアンチョークする。
- 楽観的アンチョーク  
一つのピアに対しその貢献量に関わらずアンチョークする。アンチョークするピアは30秒毎に変更する。

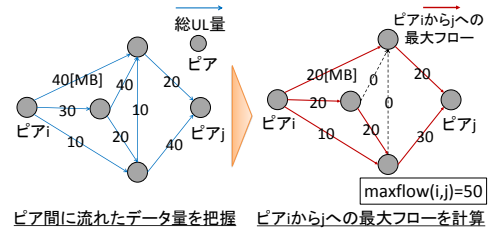


図 1 最大フローの算出例

まず、基本的アンチョークによりアップロードを許可する。そして、楽観的アンチョークによりランダムに選択したピアに対してもアップロードを許可することで、貢献量は低いが希少なピースを持つピアからもアップロードを許可でき、ピース取得の偏りをなくすることが出来る。

一方、最低限のアップロード量で必要なピースのダウンロードのみを行うフリーライダーと呼ばれるピアも存在する [6]。フリーライダーはピースを所望するときだけそのピースを保持するピアのみにアップロードを許可し、一部のピアとの貢献量を上げることで効率的に所望ピースを取得しようとする [8]。このように、チョークアルゴリズムは1対1の関係で成り立つ短期的なアルゴリズムであるため、フリーライダーのような最小限の貢献量でピースを収集するピアへの対策になり難い。そこで、ネットワーク全体への貢献量を把握し、フリーライダーに対してはネットワークに対する貢献量以上にピースを取得させないようにする必要がある。

### 2.2 評価値を用いたインセンティブメカニズム

ネットワークに対する長期的なアップロードのインセンティブを目的とした手法として、評価値を用いたインセンティブメカニズム (RBIM) が存在する。これは、過去のピース交換経験から、相手の自身に対する貢献度を数値化した値である評価値を用いて、ピア間で分散的にアップロード先を決定するものである [2], [3]。以下では、評価値の算出方法と、評価値を用いたアップロードのインセンティブの付与について説明する

#### 2.2.1 評価値の算出

評価値は互いに対する貢献量 (アップロード量) に基づいて算出される。RBIM では、最大フローアルゴリズムを適用し、過去のデータの流入量、流出量を把握している。そしてピア  $i$  からピア  $j$  への貢献量は  $i$  から  $j$  への最大フローで定義される [9]。最大フローアルゴリズムはフォードファルカーソン法 [10] に従う。また、図1に最大フローの算出例を示す。

まず、各ピアは自身に対しアップロード量の多い上位  $N_h$  個のピアと直近にやり取りをした  $N_r$  個のピアをグラフの節とする。そして、各ピア間の過去のデータの流入量を把握する。図1では、ピア  $i$  がピア  $j$  への最大フローを算出する。左のグラフが過去に各ピアで交換した総データ

量を表している。ピア  $i$  は、最大フローアルゴリズムによりピア  $j$  への最大フローを計算する。この例では、最大フローは 50 [MB] と計算される。評価値は最大フローアルゴリズムに基づいて算出されるため、ネットワーク全体へのアップロード量が多い程、評価値が高くなる。評価値  $R_{ij}$  は、RBIM に基づいて式 1 から算出される [2]。

$$R_{ij} = \frac{\arctan(\maxflow(j, i)) - \arctan(\maxflow(i, j))}{\frac{\pi}{2}} \quad (1)$$

$\maxflow(j, i)$  はピア  $j$  からピア  $i$  への最大フローを示す。より多くのピアにより多くのデータをアップロードする程評価値が高くなるように設定される。

### 2.2.2 評価値の利用

文献 [2], [3] では、評価値を Ban Policy と Rank Policy の 2 つの制度に従って利用する。Ban Policy は、評価値がある閾値以下のピアからの要求は破棄するというものである。フリーライダーのような貢献度の低いピアによるファイル取得を防ぐことが出来る。また、Rank Policy は、評価値の高いピアから要求に応えるというものである。貢献度が高いピア程より早いダウンロードスピードを享受出来る。以上により、評価値を用いて長期的により多くのピアにアップロードのインセンティブを付与し、フリーライダーのようなピアを排除することが出来る。

## 2.3 既存手法 RBIM の問題点

既存手法 RBIM ではピアの参加離脱を考慮しておらず、ネットワーク全体でのダウンロード効率が低下するという問題がある。以下では、新規参加ピアのピース交換不参加問題とピアの離脱によるピース拡散遅延問題に分けて説明する。

まず、新規参加ピアのピース交換不参加問題について説明する。RBIM では、Rank policy, Ban policy により、貢献度が低く評価値の低い新規参加ピアは、ピースの取得要求が許可され難い。そのため、新規参加ピアは有効な帯域を保持しているにも関わらず保持ピース数が増えず、ピース要求が来ないため、他ピアへのアップロードも阻害される。そして、評価値が上がらずに自身のピース取得要求が許可され難いというサイクルを繰り返すことになる。よって、新規参加ピアの帯域をより早く有効活用し、アップロードできるようにするための仕組みが必要となる。

次に、ピアの離脱によるピース拡散遅延問題について説明する。一般にピアの性能差などによりピースごとに普及スピードに差が生じ、ネットワークに分散するピース数は異なる。その結果、普及の遅いピースは取得し難くなり、最終的にファイルを取得するためにはこのような希少性の高いピースの取得が重要となる。ここで、本論文ではこのような取得困難な希少性の高いピースを希少ピースと定義し、ピースの希少性の度合いを希少度と定義する。RBIM では、ピース取得を完了したピアはネットワークに留ま

り、ピース配分の補佐を行うことを前提としている。しかし、実際の環境においては約 70~85% のピアがファイル完成直後に離脱しているという報告もある [11]。特に、評価値が高く保持ピースの多い終盤ピアは、新規のピースを取得し易く、その後すぐに離脱しやすい。そして、終盤ピアの離脱により特定のピースの配信元が減少することで拡散が遅れるピースが発生し、以後のピアのファイルの完成が遅れてしまう。そのため、保持ピース数の多い終盤ピアの離脱前にピースのアップロードを促進させ帯域をより活用し、ピアの離脱前にピースの拡散を積極的に行う仕組みが必要となる。

## 3. PEJL の提案

本節ではピアの参加離脱が発生する環境においてピアの参加離脱を考慮したピース交換手法 PEJL (Piece Exchange Method Considering Peer Join and Leave) を提案する。

### 3.1 PEJL の概要

提案手法の目的は、ピアの帯域を有効活用することで、ネットワーク全体のダウンロード効率の向上を実現する事である。まず、新規参加ピアのピース交換不参加問題の対策として、新規参加ピアに対するピース交換への参加機会を提供し帯域を有効活用する仕組みを導入する。具体的には、新規参加ピアに終盤ピアが希少ピースを優先提供することで、新規参加ピアに交渉力を与え、帯域を有効に活用する。次に、ピアの離脱によるピース拡散遅延問題に対して、保持ピース数を考慮したチョークアルゴリズムを導入する。具体的には、ピアのピース保持状況によって変動し、ダウンロード要求の可否を評価値で判断するための閾値を新たに設定することで、各ピアの送受信帯域をより活用させる。即ち、新規参加ピアも含めた保持ピース数の少ないピアはダウンロードをし易くする。また、保持ピース数の多い終盤ピアになるほどより多くアップロードをさせるように、終盤ピアの離脱に制約を設けることで、ピースの拡散を促進させる。

### 3.2 新規参加ピアの帯域の有効活用

RBIM では新規参加ピアは評価値が低く、有効な帯域を保持しているにも関わらず、Ban policy および Rank policy によりピースの取得が進まない。そのため、ネットワーク参加時にピースアップロードの許可を貰うための補助を必要とする。

提案手法では、保持しているピアが少なく取得要求が多いピースであろう希少性の高いピースを優先的に付与することで新規参加ピアに交渉力を与える。このための方法として、評価値を意図的に上げるもしくはピースの初期提供が考えられる。しかし、評価値を意図的に変動可能になると、新規参加を繰り返すことで評価値を一定に保ちネッ

トワークに貢献することなくピースを獲得されてしまうこと (whitewashing[12]) も考えられるためリスクが高い。BitTorrent におけるチョークアルゴリズムでは、ピアがランダムにピースを配布する楽観的アンチョークがあるが、既に多くのピアが持つピースを提供した場合、交渉力の付与に繋がらないことがある。この場合、再度新たなピースを付与することも考えられるが、RBIM では新規参加ピアのスタート時の評価が下がりピースの取得が困難となる。

そこで、既にネットワークに存在するピアが新規参加ピアに、希少度の高いピースを初期配布する事で効率的に新規参加ピアに交渉力を与える。また、希少度の高いピースとはその時点でより多くのピアが保持していないピースであり、要求が集中すると考えられるため、単位時間当たりにもっとも要求を受けたピースとする。あるピース  $p$  の時刻  $t$  における希少度  $N_p(t)$  を以下の式で表す。

$$N_p(t) = num_p(\Delta t) / \Delta t \quad (2)$$

$num_p(\Delta t)$  は  $\Delta t$  におけるピース  $p$  に対するシステム内の総要求数である。また、終盤ピアであるほどピース交換経験が豊富であり、ピースの希少度を最も相対的に判断できる。よって、本方式では、新規参加ピアの隣人の内最も保持ピース数の多い終盤ピアに最も希少度の高いピースを優先提供させる。さらに、新規参加ピアが終盤ピアから希少ピースを引き継ぐことになるため、終盤ピアが離脱した際の配信元の減少を抑えることを意味し、希少ピースの拡散遅延を低減させることが出来る。

ここで、新規参加ピアが初期にピースを貰うために、相手が終盤ピアかどうかを判断し、また終盤ピアは初期配布するピースを選択する必要がある。まず、隣人リスト内でお互いが保持していないピースのリストを交換し合う。そして、新規参加ピアは隣人リスト内で保持ピース数が最も多いピアを終盤ピアと判断し、ピースの要求のみを出す。また、終盤ピアは自身の保持するピースの中で最も希少度の高いピースを優先提供する。以上により、新規参加ピアに希少ピースを提供することで帯域を有効活用し、さらにピアの離脱が起きた際のピースの配信元の減少を抑制することが出来る。

### 3.3 保持ピース数を考慮したチョークアルゴリズム

RBIM では、終盤ピアは離脱前に配信側に回ることを前提としていたが、実環境において希少ピースを提供することなくすぐに離脱してしまうため、離脱前にピースを積極的に拡散させる必要がある。そこで、提案手法では、ピアのピース保持状況によって変動し、ピース取得要求の可否を評価値  $R$  で判断するための閾値  $T_{ij}$  を設定する。この閾値により、ピアのピースアップロード、ダウンロードの制御を行う。

Algorithm 2 に閾値  $T_{ij}$  に基づくチョークアルゴリズム

---

#### Algorithm 1 Choke algorithm based on threshold $T_{ij}$ .

---

**INPUT:** *neighbor\_list*: A set of peers that are neighbor of peer  $i$ ;  
**INPUT:** *request\_list*: A set of neighbor peers that sent a query to peer  $i$ ;  
**INPUT:** *upload\_num*: The number of pieces that peer  $i$  upload;  
**INPUT:** *max\_num*: The maximum number of pieces that peer  $i$  is able to upload;  
**OUTPUT:** *unchoke\_list*: A set of peers that peer  $i$  permits to upload;

```

1: upload_num  $\leftarrow$  0
2: for each peer  $j \in neighbor\_list$  do
3:    $R_{ij} = \frac{\arctan(maxflow(j,i)) - \arctan(maxflow(i,j))}{\pi/2}$ 
4:    $T_{ij} = X_j^2 - \alpha$ 
5: end for
6: for each peer  $k \in request\_list$  do
7:   if max_num > upload_num then
8:     if  $R_{ij} \geq T_{ij}$  then
9:       unchoke_list  $\leftarrow$  ID of peer  $k$ 
10:      upload_num  $\leftarrow$  upload_num + the number of pieces
          that peer  $k$  requests
11:     else
12:       Refuse the query from peer  $k$ 
13:     end if
14:   end if
15: end for
16: for each peer  $l \in unchoke\_list$  do
17:   Permit to upload pieces that peer  $l$  requests
18: end for

```

---

を示す。ピア  $i$  は要求者からのピースの要求を受け取り、要求者に対してチョークするかどうか、即ち要求者にダウンロードを許可するかを決定するピアである。閾値  $T_{ij}$  はピース提供者  $i$  が要求者  $j$  に対して算出する値であり、保持ピース数に比例するような値である。提案手法における閾値  $T_{ij}$  ( $-1 < T_{ij} < 1$ ) を式 3 から算出する。

$$T_{ij} = X_j^2 - \alpha \quad (3)$$

$X_j$  ( $0 \leq X_j \leq 1$ ) は要求者  $j$  の保持ピース率を表す。 $\alpha$  ( $0 < \alpha < 1$ ) は終盤ピアのダウンロードにどの程度制限をかけるかの制限変数である。さらに、提案手法において、要求者  $j$  に対する評価値  $R_{ij}$  が以下の式 4 の条件を満たすとき要求者  $j$  のピースのダウンロードを許可する。

$$R_{ij} \geq T_{ij} \quad (4)$$

ここで、図 2 に閾値を用いた要求者のダウンロード可否判断の例を示す。この例では、保持ピース数の少ない序盤ピア B と保持ピース数の多い終盤ピア C がピア A に対しピースの取得要求を指している。RBIM では評価値の高いピアの要求に応えるため、終盤ピア C の要求が許可されピースの取得が進み離脱し易くなる。しかし、提案手法では保持ピース数に比例した閾値  $T_{ij}$  により要求者のダウンロードの可否判断を行う。ここでは、保持ピース数の少ない序盤ピア B に対する閾値  $T_{AB}$  を下げることで、ピア B

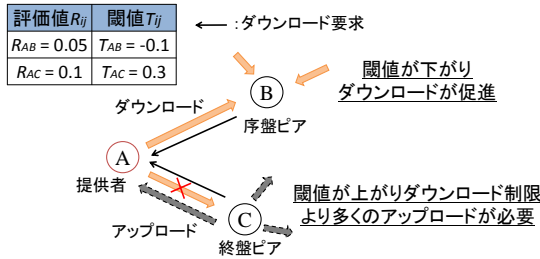


図 2 閾値  $T_{ij}$  を用いたダウンロード可否判断の例

はピア A に対して要求したピースのダウンロードが容易になる。一方、保持ピース数の多い終盤ピア C に対しては閾値  $T_{AC}$  を上げることで、終盤ピアの要求は拒否されやすくなり、ダウンロードが制限される。そのため、ピア C は新たなピースを取得するためには、評価値  $R_{AC}$  を上げる必要があり、より多くのアップロードが必要になる。このように、保持ピース数の少ない新規参加ピアの帯域を有効活用し、さらに保持ピース数の多い終盤ピアに離脱の制限を設けることで、ピースの拡散を積極的に行うようにし、ネットワーク全体のダウンロード効率向上を図る。

#### 4. シミュレーション評価

提案手法 PEJL の有用性を示すため、シミュレーションにより評価を行った。シミュレーションの時間をラウンドと呼び、1 ラウンド 2 秒に設定した。

##### 4.1 シミュレーションモデル

シミュレーションのパラメータを表 1 に示す。シミュレーションにおけるネットワークは正常ピアとフリーライダーから構成される。本論文では、便宜上フリーライダー以外のピアを正常ピアと呼ぶ。ピアの参加モデルは平均到着率  $\lambda$  のポワソン到着とした。また、シミュレーションのシナリオはネットワークに元々  $N_e$  個の既存ピアが存在し、その後  $N_n$  個のピアの新規参加が開始する。そして参加離脱が並行したあと、参加が終了し、離脱のみが発生するものとした。ピアの離脱は、4000 ピース集まったら離脱する。4000 ピースとは約 1GB のファイルに相当する。また、高い性能を持つピアと通常性能を持つピアが存在するものとし、文献 [5] に従って表 1 の通り設定した。さらに、最大フローアルゴリズムによる  $N_r$  と  $N_h$  のピア数は、RBIM[2] に従って設定した。また、制限係数  $\alpha$  の設定は、PEJL ではネットワーク全体のダウンロード効率の向上を目的としているため、予備実験を行った結果、0.6 に設定した。提案手法が、ピアの参加離脱が発生する環境において効率的にピースの拡散を促進しネットワーク全体でのダウンロード効率を向上させている事を示すため、以下の 3 つの項目により提案手法の性能を評価する。比較対象は RBIM[2] である。

- 新規参加ピアの平均帯域使用率

表 1 シミュレーションパラメータ

既存ピア数: $N_e$	200
新規参加ピア数: $N_n$	800
総ピース数: $P_A$	4000
シミュレーション時間: round	2 second
隣人更新周期: $T_{up}$	3 round
最大隣人数: $N_{max}$	15
高性能ピアの最大アップロード帯域: $U_H$	5 pieces/round
高性能ピアの最大ダウンロード帯域: $D_H$	10 pieces/round
通常性能ピアの最大アップロード帯域: $U_L$	1 pieces/round
通常性能ピアの最大ダウンロード帯域: $D_L$	3 pieces/round
フリーライダーの割合: $N_f$	30 %
フリーライダーのアップロード拒否確率: $P_f$	80 %
$N_r, N_h$	$N_r = 10, N_h = 10$
制限係数: $\alpha$	0.6
平均到着率: $\lambda$	0.25

新規参加ピアを含めた序盤ピアのダウンロード量とアップロード量の向上について確認する。帯域使用率は次式で表される。

$$\text{帯域使用率} = \frac{\text{各ピアの実際の使用帯域}}{\text{最大使用可能帯域}} \quad (5)$$

- 取得完了した正常ピア数  
ピアの参加離脱が発生する環境において正常ピアのダウンロード効率の向上、ダウンロード完了時間について確認する。
- ピースの標準偏差  
各ピースについての獲得ピア数の標準偏差について評価し、特定のピースの拡散遅延について確認する。

##### 4.2 新規ピアの平均帯域使用率

新規参加ピアの平均帯域使用率は、新規参加ピアのダウンロードとアップロードがどれだけ行われているかを表す。新規参加ピアの平均ダウンロード帯域使用率と平均アップロード帯域使用率をそれぞれ図 3, 図 4 に示す。全体として既存手法 RBIM に対し、提案手法 PEJL は平均ダウンロード帯域使用率は 16.5%, 平均アップロード帯域使用率は 18.3% 向上したことを確認した。

図 3 より、ネットワークへの参加初期に、既存手法 RBIM では平均ダウンロード帯域使用率が低下し、提案手法 PEJL では高い値となっていることが見て取れる。既存手法では、ネットワークへの参加初期は要求が多少許可されるが、序盤は保持ピース数が少なく提供可能なピースが少ないため、評価値が低下し平均ダウンロード帯域使用率が低下したと考えられる。これに対し、提案手法 PEJL では参加初期に希少ピースが提供されるためアップロードすることができる。その結果評価値の低下を防ぎ、またネットワークへの参加時間の序盤程ダウンロード出来るように閾値を設定しているため、早い段階で帯域使用率が高い値となったと考えられる。

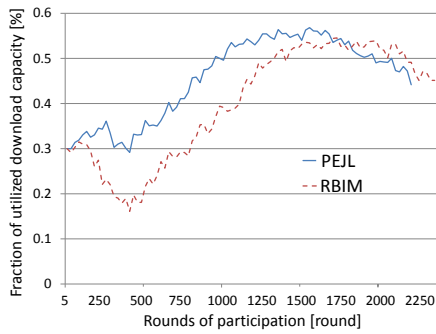


図 3 新規参加ピアの平均ダウンロード帯域使用率

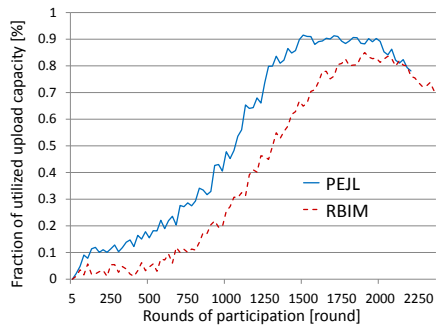


図 4 新規参加ピアの平均アップロード帯域使用率

次に図 4 より、提案手法ではダウンロード帯域を有効に活用したことで帯域使用率が向上し、より多くのピースを早い段階で取得し提供できるようになる。その結果、新規参加ピアのアップロード量が増加し、平均アップロード帯域使用率も向上したと考えられる。

#### 4.3 取得完了した正常ピア数

ピアの参加離脱が発生する環境下における取得完了した正常ピア数と完了時間を図 5 に示す。図より、PEJL は早い時間にピース取得を完了していることが分かる。RBIM では 6342 ラウンド、PEJL では 5202 ラウンドで取得完了し、RBIM に対しネットワーク全体でのダウンロード完了時間を 18% 削減したことを確認した。RBIM では既に存在していたピアは約 2000 ラウンドから離脱し、PEJL では約 2100 ラウンドから離脱している。離脱の開始は PEJL の方が遅れているが、RBIM ではピアの離脱後に取得完了ピア数の増加が減少していくことが分かり、参加離脱が入り乱れた状況では PEJL の方が取得完了ピア数の増加が大きいことが分かる。これは、参加離脱が発生する環境下において序盤ピアに積極的にピースを拡散させ、終盤ピアのアップロード量を増やし積極的にピースの拡散を行い、離脱による配信元の減少を抑制したためであると考えられる。これにより、ピアの参加離脱が発生する環境下における提案手法 PEJL の効果を確認できる。

#### 4.4 ピースの標準偏差

各ピースについての獲得ピア数の標準偏差を図 6 に示す。

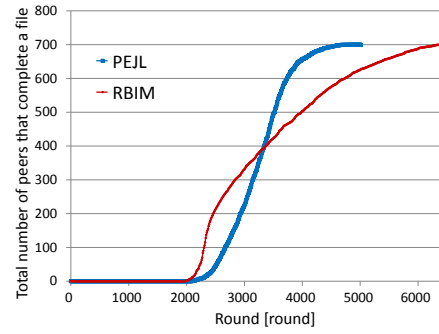


図 5 取得完了した正常ピア数

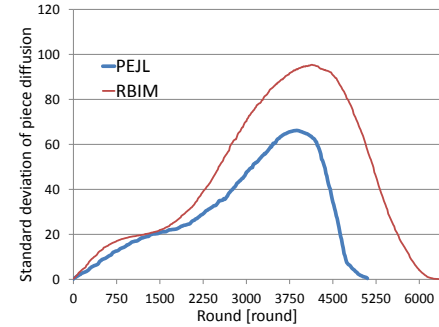


図 6 ピースの標準偏差

これは、各ピースが行き渡っている正常ピア数のばらつきを表し、標準偏差が小さいほど各ピースが正常ピアに拡散しており、標準偏差が大きいくほど各ピースが正常ピアに行き渡っていないことを意味する。図より、PEJL は RBIM よりもピースの標準偏差が低いことが分かる。また、既存ピアは全てのピースを取得し約 2000 ラウンドから離脱しており、RBIM で約 2000 ラウンドから標準偏差の増加が大きいことが分かる。これは、RBIM では、既存ピアが離脱前にピースをアップロードせず離脱したことにより、希少ピースの拡散遅延が発生したためであると考えられる。一方、PEJL では、新規参加ピアに希少度の高いピースを配布したことにより希少ピースの配信元の減少を抑制でき、さらに閾値を用いてピアの離脱に制約を設けたことにより、各ピースがネットワークに拡散したためであると考えられる。これにより、ピアの離脱発生後のピースの拡散遅延による影響の低減を確認できる。

### 5. おわりに

本論文では、ピアの参加離脱が発生する環境において、ピアネットワーク全体でのピースダウンロード効率の低下を抑制するピース交換手法 PEJL を提案した。

提案手法では、新規参加ピアに対して終盤ピアが希少ピースを優先提供し帯域を有効活用する仕組みを導入し、新規参加ピアに交渉力を与える。また、ピアのピース保持状況に応じた閾値を新たに設定し、保持状況に応じて各ピアのアップロード、ダウンロードを制御する。このようにする事で離脱が生じた際の普及の遅れているピースの配信

元の減少を抑制することができ、ピアの参加離脱が発生する環境においてネットワーク全体でのダウンロード効率の低下を抑制することが出来る。提案手法をシミュレーションにより比較評価し、ピアの帯域を有効活用することで、ネットワーク全体でのダウンロード完了時間を削減し、ダウンロード効率が向上した事を確認した。

以上より、提案手法は効率的にネットワーク全体でのピースの拡散を促進できるという有用性を示した。

## 参考文献

- [1] Mazurczyk, Wojciech., Kopiczko, Pawel.: Understanding BitTorrent through real measurements, *Communications*, vol.10, pp. 107–118 (2013).
- [2] Meulpolder, M., Pouwelse, J.A., Epema, D.H.J. and Sips, H.J.: BarterCast: A practical approach to prevent lazy freeriding in P2P networks, *IEEE International Symposium on Parallel & Distributed Processing, 2009(IPDPS 2009)*, pp. 1–8 (2009).
- [3] Delaviz, R., Andrade, N. and Pouwelse, J.A.: Improving Accuracy and Coverage in an Internet-Deployed Reputation Mechanism, *2010 IEEE Tenth International Conference on Peer-to-Peer Computing (P2P)*, pp. 1–9 (2010).
- [4] 松本敬, 遠藤伶, 重野寛: ブロックのレアリティを考慮した効率的な P2P ファイル共有手法, *情報処理学会論文誌*, Vol.51, No.6, pp 1310–1319 (2010).
- [5] Bharambe, A.R., Herley, C. and Padmanabhan, V.N.: Analyzing and Improving a BitTorrent Networks Performance Mechanisms, *25th IEEE International Conference on Computer Communications, (INFOCOM 2006)*, pp. 1–12 (2006).
- [6] Karakaya, M., Korpeoglu, I. and Ulusoy, O.: Free Riding in Peer-to-Peer Networks, *Internet Computing, IEEE*, vol.13, pp. 92–98 (2009).
- [7] Huo Ying., Chen Zhigang.: USMI: An Ultra-Node Selection Mechanism with Incentive in P2P Network, *2010 International Conference on Multimedia Information Networking and Security (MINES)*, pp. 131–135 (2010).
- [8] Lui, S.M., Lang, Karl R. and Kwok, S.H.: Participation incentive mechanisms in peer-to-peer subscription systems, *Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference*, vol.6, pp. 3925–3931 (2002).
- [9] Delaviz, R., Andrade, N. and Pouwelse, J.A.: Improving Accuracy and Coverage in an Internet-Deployed Reputation Mechanism, *IEEE Tenth International Conference on Peer-to-Peer Computing (P2P)*, pp. 1–9 (2010).
- [10] Cormen, T.H., Leiserson, C.E., Rivest, R.L. and Stein, C.: Introduction to Algorithms, *MIT Press and McGraw-Hill, second edition*, pp. 651–664 (2001).
- [11] Zhang, K., Antonopoulos, N. and Mahmood, Z.: A Review of Incentive Mechanism in Peer-to-Peer Systems, *First International Conference on Advances in P2P Systems, (AP2PS 2009)*, pp. 45–50 (2010).
- [12] Feldman, M., Papadimitriou, C., Chuang, J. and Stoica, I.: Free-riding and whitewashing in peer-to-peer systems, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp. 1010–1019 (2006).