

P2P ライブストリーミングサービスにおける 普及率に基づくチャンク交換手法

酒田 良樹^{1,a)} 畠山 翔¹ 重野 寛²

受付日 2013年5月13日, 採録日 2013年10月9日

概要: P2P ライブストリーミングサービスでは, 動画はチャンクに分割され, チャンクを受信したピアが他のピアへの転送も行うことでサーバの配信負荷を軽減している. しかし, 既存のピア間のチャンク交換では, 近傍のピアどうしで保持チャンクが重複し, 同じチャンクを持つ隣人ピア間でチャンク提供が行えなくなるというチャンク重複問題が発生する. そこで本論文では, 近傍のピアが保持していないチャンクを優先して確率的に受信し, チャンク重複問題の発生を回避するチャンク交換手法 CSBCD を提案する. CSBCD では, 隣人ピアとチャンク保持情報を交換し, 隣人ピアが保持していないチャンクを確率的に受信する. 提案手法により, 近傍ピアとの保持チャンクの重複を削減しチャンクの転送機会を増加させることで, ピアの送信帯域を有効に活用する. また, シミュレーション評価により, CSBCD を用いることでピアの平均チャンク受信率が4%改善されることを示した.

キーワード: Peer-to-Peer (P2P), ライブストリーミング, チャンク交換手法, チャンク普及率

A Chunk Scheduling Based on Chunk Diffusion Ratio on P2P Live Streaming

YOSHIKI SAKATA^{1,a)} SHO HATAKEYAMA¹ HIROSHI SHIGENO²

Received: May 13, 2013, Accepted: October 9, 2013

Abstract: In P2P live streaming service, the peers not only receive but also send the chunks to watch the video contents. Source's load for delivering is reduced. The video content is sliced into small pieces called chunks. The peers collect the chunks to watch the video. In an Offer Select method, each peer offers sendable chunks to its neighbors. The neighbors select receiving chunks from the sendable chunks. However, some chunk diffusions are low. It happens that peers offer same chunks to a neighbor. In this paper, we propose a chunk schedule method CSBCD. In the CSBCD, each peer receives chunks which the nearby peers hardly possess. Our method reduces variance of chunk diffusion. Simulation results show that peers receive 4 percent more chunks, which enables peers to watch higher quality videos.

Keywords: Peer-to-Peer (P2P), live streaming, chunk scheduling method, chunk diffusion ratio

1. はじめに

動画をインターネット上でライブ配信できるサービスとして, ライブストリーミングサービスがある. ライブスト

リーミングサービスでは, 視聴者は動画が配信されると同時にライブで視聴することができ, また配信者は撮影と同時にライブ中継としての配信も行うことができる. 一般的なライブストリーミングサービスでは, オリジナルの動画を保持するサーバがすべての視聴者に配信を行う client-server システムが用いられる. このようなシステムでは, 動画配信者は視聴者の数に応じた配信能力を保持するサーバを用意する必要がある. そのため, 大規模なライブストリーミング配信を行う際に, 広帯域の通信回線を用

¹ 慶應義塾大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Keio University,
Yokohama, Kanagawa 223-8522, Japan

² 慶應義塾大学理工学部
Faculty of Science and Technology, Keio University, Yokohama,
Kanagawa 223-8522, Japan

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

意したりサーバの台数を増やしたりする必要があり、配信コストが高くなるという問題があった。

この課題を解決する手法として、P2P ネットワークを用いて動画を配信する P2P ライブストリーミングサービスがある。P2P ライブストリーミングサービスでは、参加ユーザをピアと呼び、サーバからデータを受信したピアが、その後他のピアへの転送も行うという手法を用いる。一般的に、動画はチャンクと呼ばれるデータ単位に分割され扱われる。そして、ピアは受信したチャンクを一定サイズだけキャッシュに残し、そのキャッシュを他ピアへの配信に用いる。各ピアは、チャンクの送受信の開始時にチャンクを直接交換するピアを決定する。このようなピアをそのピアに対する隣人ピアと呼ぶ。このように、サーバの動画配信をピアが手伝うことにより、client-server 方式においてサーバのみに集中していた配信負荷をピア間に分散させることができる。

しかし、この P2P ライブストリーミングサービスにおいて、提供可能なチャンクがすでに他のピアにより転送されてしまっているために、ピアの送信帯域が余っていても隣人ピアにチャンク提供を行えないことがある。P2P ネットワークの特徴として、ピアの送信帯域やピア間の転送遅延時間にばらつきがある。そのため、チャンクがピア間で転送される過程でこれらの影響を受け、チャンクごとにピアへの普及に偏りが発生する。このようにピアへの普及が進んでいるチャンクと普及していないチャンクに差がある状況下では、近傍のピアどうして保持チャンクが重複し、同じチャンクを持つ隣人ピア間でチャンク提供が行えなくなるというチャンク重複問題が発生する。普及率の高いチャンクを受信したピアは、他のピアもそのチャンクをすでに保持しているため、送信帯域に十分な余剰があってもチャンク提供を行えない。また、受信されなかった普及率の低いチャンクはその後さらに他のピアへの普及が遅れ、最終的に多くのピアがそのチャンクを受信することができず再生品質低下の原因となってしまう。P2P ライブストリーミングサービスでは、すべてのピアが同じ再生位置での視聴を目的にチャンク交換を行う。そのため、ピア間で交換される対象となるチャンクがサーバから配信された直後のチャンクのみとなり、より顕著にこのような問題が発生する。

そこで本論文では、近傍のピアが保持していないチャンクを優先して確率的に受信し、チャンク重複問題の発生を回避するチャンク交換手法 CSBCD (Chunk Scheduling based on Chunk Diffusion Ratio) を提案する。CSBCD では、各ピアは隣人ピアとチャンク保持情報を交換し、各チャンクの普及率を推定する。そして普及率の低いチャンクを優先して確率的に取得し転送することで、ピアのチャンク転送機会を増やし、ピアのチャンク受信率を向上させる。チャンクごとのピアへの普及の偏りを抑制することで、提供可能チャンクを別のピアに先に転送されてしまう確率が

減り、送信帯域をより多く活用することができる。

以下、2章で関連研究とその問題点を明らかにし、3章でその問題を解決する新方式を提案する。そして4章で性能評価を行い提案方式の有用性を示し、5章で結論を示す。

2. 関連研究

図 1 に P2P ライブストリーミングサービスにおける動画の配信の様子を示す。このサービスは配信サーバ、ピアから成り立つ。サーバはオリジナルの動画を保持しており、動画をチャンクへ分割し、それから隣人ピアにチャンクを送信する。ピアは動画を視聴するためにサービスに参加する一般ユーザであり、サーバから配信されたチャンクを集めることで元の動画を視聴できる。また、各ピアは視聴後も一定時間チャンクを保持し、他のピアへの転送も行う。サーバの配信をピアが手助けすることにより、サーバの配信負荷を減らすことができる。

2.1 ピア間でのチャンク転送手法

P2P ライブストリーミングサービスでは、ピア間でどのようにチャンクを転送するかがシステムの配信性能に大きく影響する。ピア間でのチャンク交換手法に関して、いくつかのアルゴリズムが研究されている [1], [2], [3], [4]。これらの研究では、ピア間のチャンク交換手法として用いるアルゴリズムが、ピアの再生遅延やチャンク取得率へ及ぼす影響が評価されてきた。

また、ピア間でチャンク転送を行う際、転送先ピアがすでに保持しているチャンクを冗長に転送してしまうことを防がなくてはならない。これに関して、チャンクを互いに転送しあう隣人ピア間で、どのチャンクをすでに持っているかというチャンク保持情報を把握し合いチャンク転送を

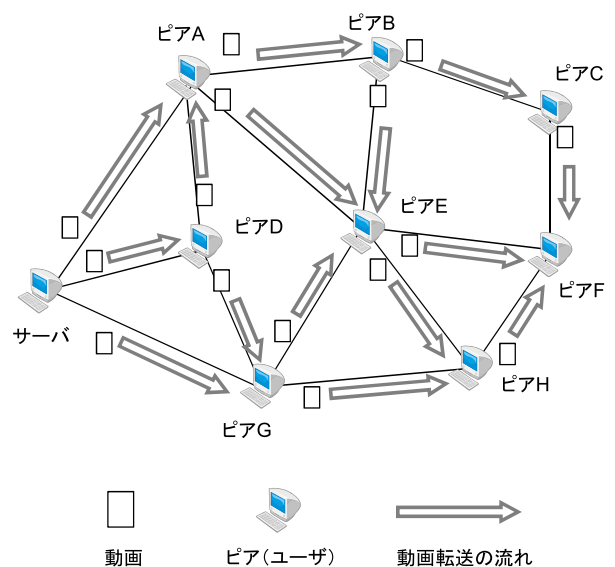


図 1 P2P ライブストリーミングサービス
Fig. 1 P2P Live Streaming Service.

行う, Offer Select 手法というチャンク交換手法が研究されている [9]. この手法では, 各ピアは自分のチャンク保持情報を隣人ピアに提示し, 隣人ピアは再生時刻順 (In-Order) に保持していないチャンクから一定数のチャンクを選択し受信する.

Offer Select を用いない手法としては, トラッカなどの管理サーバを用いることでチャンクの普及度を把握する手法が考えられる. しかし, 各ピアが管理サーバに問い合わせる際に発生する待ち時間を考慮すると, より多大なオーバーヘッドが発生すると考えられる. また, 管理サーバに情報保持の負担が集中し, 管理サーバにおいて性能の低下が発生した場合はただちに P2P ネットワーク全体に影響を及ぼしてしまうことが考えられる. 一方, P2P ネットワークはスケラブル性があるという特徴があるので, Offer Select 手法で分散的に情報交換を行うことで, 参加ピアが増加しても 1 ピアあたりの情報交換の負荷が増えることはない. これより, Offer Select 手法を用いることにより, 効率的にチャンク保持情報を把握し, ピア間でチャンク交換を行うことができるといえる.

2.2 問題点

しかし, P2P ライブストリーミングサービスを用いた動画配信の際, 提供可能なチャンクがすでに他のピアにより転送されてしまっているために, 送信帯域が余っていても隣人ピアにチャンク提供を行えず, ピア間でのチャンク転送機会の減少により各ピアのチャンク受信率が低下してしまうチャンク重複問題が発生する. P2P ネットワークは一般ユーザの送信リソースを用いて形成されるため, 帯域が小さく送信能力の低いピアや, ピア間の転送遅延時間が大きい箇所が存在する. ピア間で転送され P2P ネットワークに普及していく過程でそのような経路を経由したチャンクは, ピア間でのチャンク交換が遅くなり, そうでないチャンクと比較してピアへの普及率が低くなる. そのため, チャンクごとに普及率に偏りが発生する. 普及率の高いチャンクを受信した際は, 他のピアもそのチャンクをすでに保持している可能性が高く, ピアの送信帯域に十分な余剰があってもチャンク提供を行えないことがある. また, そのとき受信されなかった普及率の低いチャンクはその後さらにピア間で交換される機会が減少し, 最終的に多くのピアがそのチャンクを受信することができず再生品質低下の原因となってしまう.

一般的な P2P ネットワークを用いたデータ配信では, 各ピアがこのような普及率の低いデータピースを優先して取得し転送させることで, システムの配信性能が向上する [5]. P2P ネットワークにおける各データピースの普及率は, トラッカなどの管理サーバに問い合わせることにより把握することができる. しかし, 遅延の少ない動画の受信が求められる P2P ライブストリーミングサービスでは, チャン

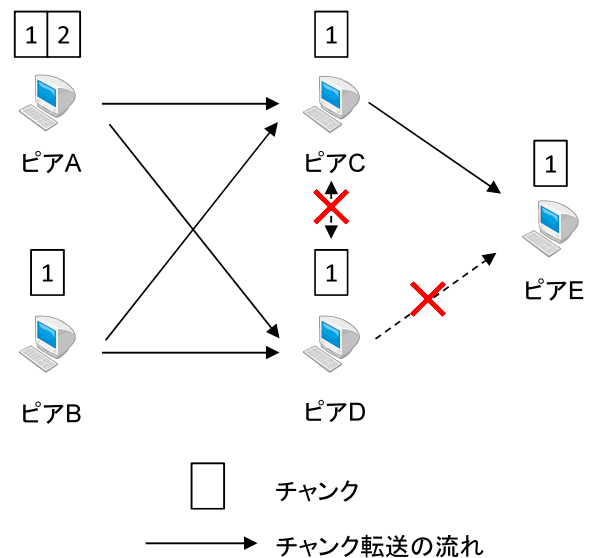


図 2 付近のピアとの保持チャンクのコピー

Fig. 2 Duplication of chunks with neighbor peers.

ク受信のたびにトラッカなどの管理サーバに問合せを行うのは時間がかかりすぎてしまう. そのため, それぞれのピアが分散的にチャンク保持情報を交換し受信するチャンクを決定している. ピア間で交換される情報はチャンクを保持しているか否かのみであり, 各チャンクの普及率は分からない.

図 2 は, 互いに近傍であるピア C と D が同じチャンクを重複して保持した様子を示している. ピア A と B の保持チャンクに偏りが生じ, チャンク 2 はピア A のみが保持しており, チャンク 1 はピア A と B 両方が保持していたとする. 互いに近傍であるピア C とピア D がピア A と B からチャンクを受信する際, ピア C と D の両方が保持しているチャンク 1 を受信する可能性が高い. 実際にピア C, D ともにチャンク 1 を受信した場合, C と D は互いに提供できるチャンクがないため, チャンク転送ができない. また, 両ピアの共通の隣人 E に対しても, 同じチャンク 1 を提供できるのは片方のピアのみであり, 他方のピアはチャンク転送を行うことができない. このように, 近傍ピアと受信チャンクが重複した場合, 十分な送信帯域があってもチャンク転送を行うことができない. また, ピア C と D に受信されなかったチャンク 2 については, どちらのピアも転送を行うことができないため, 以降ピア間で交換が行われなくなってしまう.

このような普及率の低いチャンクの発生を抑える手法として, ピア間でのチャンク転送頻度を増やすという対策が考えられるが, 実際のピアの性能を考慮すると転送頻度には上限がある. 図 2 の例において, 近傍ピア C と D が同じチャンク 1 を重複して受信しても, 次回のピア A, B のチャンク転送時にピア C かピア D がチャンク 2 を受信すれば, 保持ピアが少ないためにピア間での交換が行われなくなってしまうチャンクの発生を避けることができる. し

かし、ADSL 回線や、無線 LAN などを経たネットワークアクセスを想定すると、通信帯域に制約が生じる。このような状況下においては、一般参加ピアの帯域ではチャンク提供能力に限界がある。ピアの帯域の能力を超える送信を行おうとすると、転送待ちにより隣人ピアへのチャンクの到着が遅れ、再生に間に合わないことによる品質劣化を招く。そのため、チャンク転送頻度をある程度抑える必要がある。その場合、それぞれのチャンクがピア間で転送される機会に限られるため、数少ないチャンク転送の機会がそのチャンクのピアへの普及に大きく影響する。以上より、数少ないチャンク転送でチャンクを均等に普及させることが重要となる。

3. 提案

本論文では、P2P ライブストリーミングサービスにおいて、近傍のピアが保持していないチャンクを優先して確率的に受信し、チャンク重複問題の発生を回避するチャンク交換手法 CSBCD (Chunk Scheduling based on Chunk Diffusion Ratio) を提案する。各ピアは隣人ピアとチャンク保持情報を交換し、各チャンクの普及率を推定する。そして普及率の低いチャンクを優先して確率的に取得し転送することで、ピアのチャンク転送機会を増やし、ピアのチャンク受信率を向上させる。確率的な選択を用いることにより、普及率が低いと推定されたチャンクに近傍ピアの取得要求が集中することを防ぐ。チャンクごとのピアへの普及の偏りを抑制することで、提供可能チャンクを別のピアに先に転送されてしまう確率が減り、送信帯域をより多く活用することができる。

3.1 CSBCD

図 3 に、CSBCD を用いたチャンク転送の例を示す。ピ

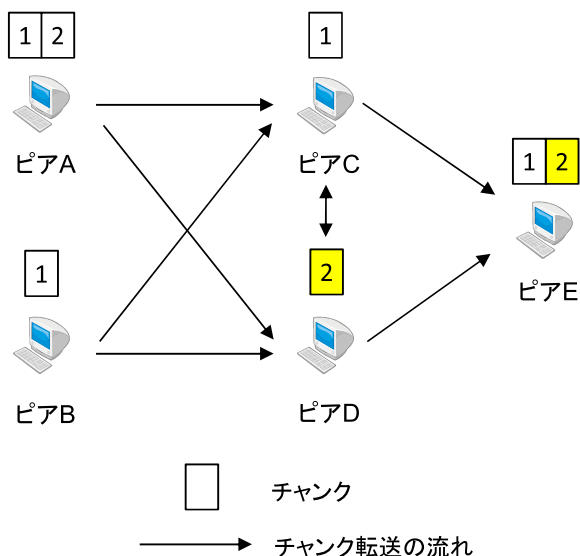


図 3 CSBCD を用いたピア間のチャンク転送

Fig. 3 Chunk forwarding among peers by using CSBCD.

ア A と B の保持チャンクは図 2 と同様であるが、CSBCD において、ピア D は近傍のピア C が保持していないチャンク 2 を受信する。ピア C と D が異なるチャンクを保持することで、両ピア間でチャンク転送を行うことができ、また共通の隣人ピアに対してもピア C と D の両方がチャンク転送を行うことができる。このように、CSBCD では、付近のピアが保持していないと推測されるチャンクを優先して取得することで、チャンク重複問題の発生を回避し、チャンクの提供機会を増やす。これにより、既存手法と比較しより多くのピアの送信帯域を活用ことができ、その分サーバの配信トラフィック量を低減できる。

3.2 チャンクの普及率を考慮した選択確率の決定方法

CSBCD では、Offer Select 手法 [9] で行われているピア間でのチャンク保持情報の交換を用いて、過去の Offer 履歴を参照しチャンクの普及率を推測し、普及率の低いチャンクを優先して受信するチャンク転送を行う。Offer Select 方式では、提供可能なチャンクを保持するピアが、送信ピアとしてそれらのチャンクの一覧を隣人ピアに Offer メッセージとして通知する。Offer メッセージを受け取った隣人ピアは、通知された一覧の中から自分が保持していないチャンクを選択し、転送してもらう。このチャンク選択の際、CSBCD では、各ピアは交換期限内のチャンクに関して過去の全 Offer 回数を記録する。そしてその Offer 回数をもとに普及率を推測し、普及率の低いチャンクを優先して確率的に選択する。ピア n が受信した Offer メッセージに含まれるチャンク一覧のうち、所持していないチャンクを集合 L_n で表す。チャンク k の相対的な普及率 d_k を

$$d_k = \frac{O_k}{\sum_{i \in L_n} O_i} \quad (1)$$

であると推定する。ここで、チャンク k は L_n に含まれ、過去の Offer 回数が O_k であるとする。本提案手法は、普及率の低いものを優先して Select することを目標としている。そこで、普及率 d_k の逆数を r_k とおき、チャンク k の選択確率 P_k は r_k に比例して

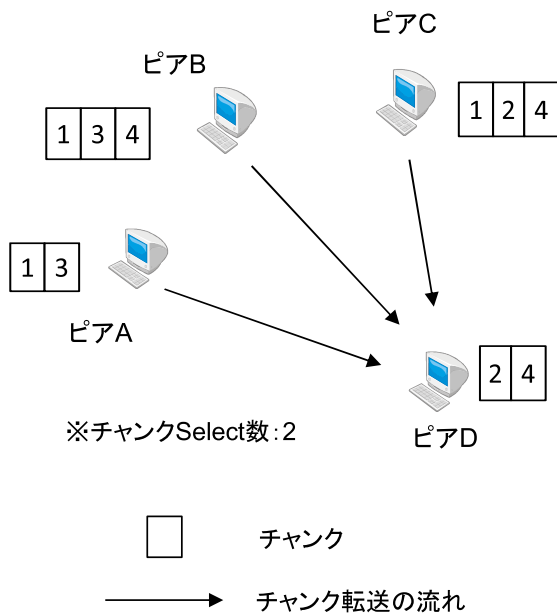
$$P_k = \min(1, Z * r_k) = \min\left(1, Z * \frac{\sum_{i \in L_n} O_i}{O_k}\right) \quad (2)$$

とする。ここで、比例定数 Z は、1 回の Select でピアが要求するチャンク数の期待値を調整するためのものである。Offer されたすべてのチャンクを選択確率の合計が、あらかじめ決められたチャンク Select 数 $select_num$ で正規化されるように選択確率を調整する。よって係数 Z は

$$Z = \frac{select_num}{\sum_{i \in L_n} r_i} \quad (3)$$

となる。

図 4 に、CSBCD における受信チャンクを選択確率の決定の例を示す。各ピアは、各チャンクに関して、そのチャ



ピアDのOffer回数リストと選択確率

チャンクID	過去にOfferされた回数	選択確率
1	3	0.23
2	1	0.71
3	2	0.35
4	1	0.71

図 4 普及率を考慮したチャンク選択

Fig. 4 Chunk selection considering chunk diffusion rate.

ンクが交換期限内である間 Offer された回数をカウントし、リストとして保持しておく。そして Offer されたチャンクから受信するチャンクを Select する際に、今までの Offer 回数をもとに普及率を推定し、選択確率を決定する。図 4 において、各チャンクを選択確率は、過去に Offer された回数が少ないものほど高く設定されていることが分かる。CSBCD では、この確率に従って取得するチャンクの Select を行う。

3.3 CSBCD によるチャンク転送アルゴリズム

CSBCD を用いたチャンク転送の流れを説明する。概略を図 5 に示す。

3.3.1 P2P ネットワークの構築

本論文では、1つのピアがサーバとして動画を保持して、他のピアに転送するシステムを考慮する。このピアをサーバピアと呼び、データの受信を行わず提供のみを行うピアであるとする。最初に、サーバピアを含むすべてのピアは隣人ピアを決定することで P2P ネットワークを構築する。最も簡単な手法は、P2P ネットワークを構成するためのピア情報取得のために、ブートストラップサーバとして管理サーバを用いる手法である [6]。それぞれのピアがシステムに参加するときに管理サーバに通知し、隣人ピア選択の際に管理サーバの収集した全ピアの情報をもとに隣人を決定する。また、トラッカなどを用いない手法とし

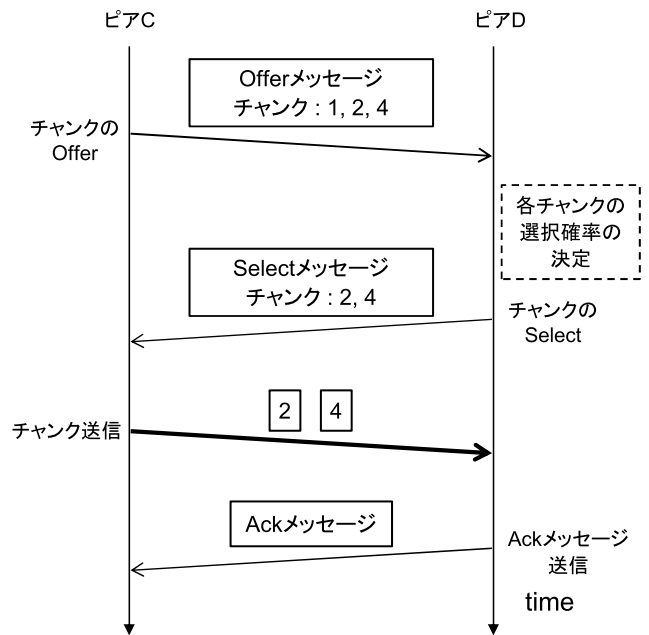


図 5 CSBCD におけるチャンク転送手順

Fig. 5 Chunk forwarding in CSBCD.

て、最初に1つのピアと接続し、そのピアを中継してネットワークに参加しているピアの情報を収集し、隣人ピアを決定する方法があげられる [7], [8]。この場合最初のピアの情報はインターネット上などから入手する場合が多い。

これらの手法で参加ピアの情報を受け取り、隣人ピアを決定する。

3.3.2 サーバピアのチャンク配信

サーバピアはオリジナルの動画を所持しており、参加ピアへ動画を配信する。サーバピアは初めに動画をチャンクに分割し、チャンクを隣人ピアに送信する。一般的な P2P ライブストリーミングサービスでは、ピアでの再生遅延を抑えるため、ピア間でのチャンク交換に締切期限が設定される。この締切を交換期限と呼び、サーバピアから配信された各チャンクは、それぞれの交換期限内にピアに受信されなければならない。交換期限を過ぎたチャンクは、以降ピア間で転送が行われない。すべてのチャンクの交換期限の超過を持って、動画の転送は終了する。

3.3.3 ピアのチャンク Offer

チャンクを受信した一般のピアは、サーバピアと同様に受信したチャンクを他のピアに転送する。それぞれのピアは、交換期限内のチャンク、すなわち提供可能なチャンクを保持しているときに、定期的に隣人ピアに Offer メッセージを送信する。Offer メッセージには提供可能なチャンクの一覧が含まれている。なお、各ピアは隣人ピアの中から一部のピアを選んで Offer メッセージを送信することとする。これは、多くの Select メッセージが隣人ピアから返信され、自分の帯域の持つ提供能力を超えたチャンク転送を行わなければならないことを防ぐためである。今回は簡単なアルゴリズムとして、隣人ピア数の半分のピア

をランダムに選択し、Offer メッセージを送る手法を採用している。

3.3.4 ピアのチャンク Select

Offer メッセージを受信した隣人ピアは、Offer されたチャンクの一覧から受信するチャンクを選択し、Select メッセージとして返信する。受信した Offer メッセージには、メッセージを送信したピアが所持する交換期限内のチャンクの一覧が含まれている。前節で述べたチャンク選択確率の決定法に従い、Offer されたチャンク一覧の中から受信するチャンクを決定する。Offer されたチャンクの中に所持していないチャンクがなかった場合、ネットワークリソースの利用を削減するために Select メッセージの返信は行わない。

3.3.5 チャンク転送

上記の情報交換により、Offer メッセージを送信したピアは、自分が提供できるチャンクのうち隣人ピアがどのチャンクを所望しているかを把握することができる。Offer メッセージを送信したピアは、Select メッセージを受信した順番で隣人にチャンクを送信する。他の隣人ピアからの Select メッセージの受信を待っている間に、ピアはすでに Select メッセージを返信した隣人ピアにチャンクを送信することができる。これにより、効率的なチャンクスケジューリングを実現する。

3.3.6 ACK メッセージ

要求したチャンクをすべて受信した後、隣人ピアは ACK メッセージを返信し、チャンクを送信したピアにチャンクの受信の完了を通知する。その後、チャンクを受信した隣人ピアは、提供側として他の隣人ピアに Offer メッセージを送信する。

4. シミュレーション結果

提案手法 CSBCD の有用性を示すために、再生時刻順にチャンクを Select する既存手法 (In-Order) との比較評価を行う。

4.1 シミュレーション条件

表 1 にシミュレーションで使用した条件を示す。シミュレーションでは、参加ピア数は 500 とする。送信帯域の大

表 1 シミュレーション条件
Table 1 Simulation parameters.

シミュレータ	P2PTV-sim
参加ピア数	500
平均ピア送信帯域	1.3 Mbps
チャンク数	3,000
チャンクサイズ	100 kbit
ビデオレート	1.168 Mbps
交換期限	5 sec
チャンク Select 数	1

きいピアを優先して高確率で隣人ピアに選択する帯域ベースの隣人選択手法を採用し、送信帯域の大きさに応じて隣人ピア数が決定する P2P ネットワークを想定する。サーバの送信帯域は 5 Mbps とする。なお、参加ピアは表 2 のように送信帯域に応じて広帯域、中帯域、低帯域ピアとフリーライダの 4 つのクラスに分類される。

本論文では参加ピアの 1 つがサーバピアとして他の参加ピアに動画を配信するライブストリーミングを想定する。配信する動画は 1 つで、動画配信時のピアの参加離脱は発生しないこととする。チャンク 1 つのサイズを 100 kbit とし、動画は 3,000 個のチャンクに分割することとする。動画のビデオレートは 1.168 Mbps とし、したがって動画の長さは 256.8 秒となる。

チャンク交換期限とは、各チャンクはサーバから配信されてからピア間で交換を行うことができる期限である。短すぎる期限を設定すると、チャンクが各参加ピアに十分拡散しない。一方長すぎる期間を設定すると、ピア間での交換対象となるチャンクが増え、各ピアの送信能力を超えた場合は転送待ちが発生し、受信が交換期限に間に合わないチャンクが増加する。シミュレーション評価では予備実験から交換期限を 5 秒とした。

1 度の Offer に対して Select するチャンク数が多すぎると、チャンクを送信するピアの送信能力を超えたチャンク転送が要求されてしまい、転送待ちによる遅延発生の原因となってしまう。これをふまえ、今回はチャンクの Select 数である *select_num* の値に 1 を選択する。これらのピアの分布と動画に関するシミュレーション条件は、既存手法の評価の際に用いられた、P2P ライブストリーミングサービスにおける実際の使用環境を考慮した条件 [9] を参考にしている。

以上の環境でシミュレーションを 10 回行い、その平均値を算出した。本論文では、提案手法の評価にオープンソースのシミュレータである P2PTV-sim [10] を用いた。

4.2 チャンクごとのピアへの普及の分散

図 6 に既存手法と CSBCD におけるチャンクごとの到達ピア数の分散を示す。チャンクの到達ピア数とは、そのチャンクがサーバから配信されてからそのときまでに、いくつのピアに到着したかを表すものである。グラフは、すべてのチャンクに関して到着ピア数を計測し、その分散を

表 2 ピアの送信帯域
Table 2 Peer upload capacity.

送信帯域	存在割合 [%]
5.00 Mbps (広帯域ピア)	10.0%
1.60 Mbps (中帯域ピア)	35.8%
0.64 Mbps (低帯域ピア)	34.2%
0.00 Mbps (フリーライダ)	20.0%

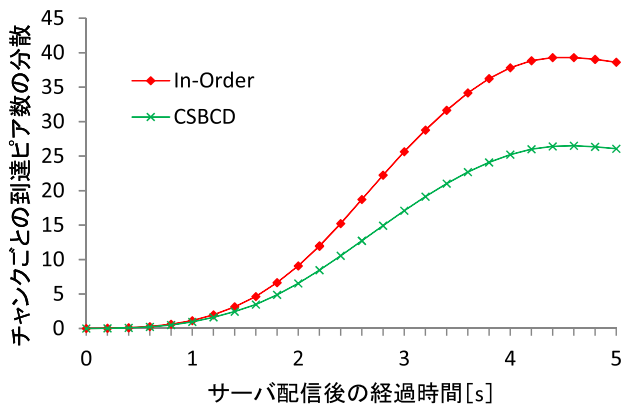


図 6 チャンクごとの到達ピア数の分散

Fig. 6 Dispersion of chunk diffusion versus time since each chunk's birth.

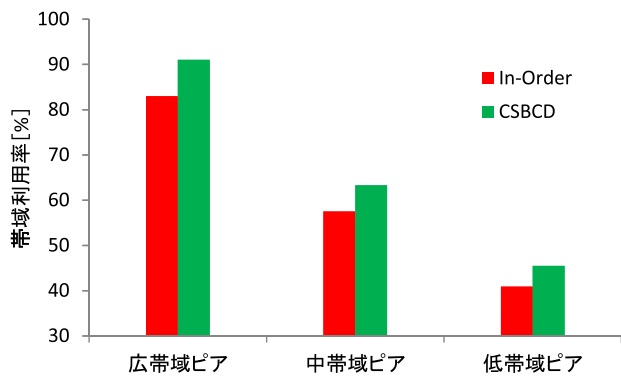


図 7 ピアの帯域利用率

Fig. 7 Bandwidth utilization of peers.

示したものである。この分散が大きいほど、サーバから配信されてから普及が進むチャンクと、時間が経過しても普及しないチャンクの差が開いていることを意味している。

グラフより、提案手法の方がチャンクごとの到着ピア数の分散が小さいことが分かる。CSBCDでは、普及率が低いと推測されるチャンクを優先して受信する。これにより、それらのチャンクの提供機会を増やし、チャンクごとのピアへの普及の差を抑えることができた。

4.3 ピアの帯域利用率

次に、チャンクの均等な普及が、参加ピアの帯域利用に及ぼす影響について考察する。図 7 に、広帯域、中帯域、低帯域それぞれのピアの、平均の送信帯域利用率の測定結果を示す。フリーライダーはチャンク提供を行わないピアであるので、グラフには載せていない。

既存手法と比較して、CSBCD では各帯域のピアにおいてそれぞれ帯域利用率が増加していることが分かる。これは、提案手法を用いて付近のピアが保持していないチャンクを優先して受信することで、チャンクの提供機会が増えたためである。既存手法では、先述のとおりチャンクごとのピアへの普及の分散が大きくなる。普及しているチャンクとしていないチャンクの差が大きくなり、付近のピアと同じ

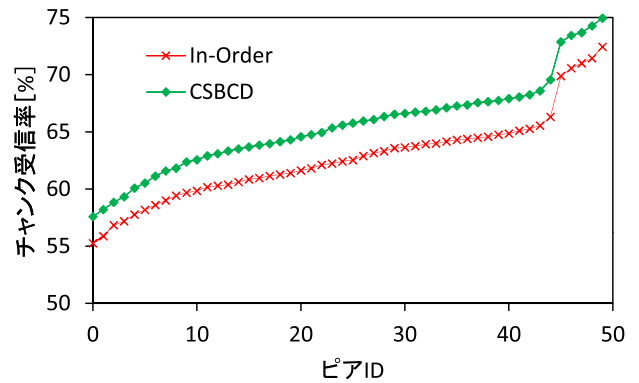


図 8 チャンク受信率

Fig. 8 Chunk reception rate at peers.

チャンクを保持しているという状況が多く発生した。そのため、自分が提供可能なチャンクをすでに隣人ピアが保持していて、隣人ピアにチャンクを転送できない場合があった。提案手法では、このような隣人ピアとの保持チャンクの重複を抑制することで、隣人ピアにチャンクを転送する機会が増加し、結果としてより多くの参加ピアの送信帯域を活用することができた。

4.4 ピアのチャンク受信率

動画の転送における CSBCD の有効性を示すため、ピアのチャンク受信率の評価を行った。図 8 において横軸は各参加ピア、縦軸はピアのチャンク受信率を示しており、横軸のピアはチャンク受信率でソートしてある。

CSBCD において、各ピアのチャンク受信率が既存手法と比べておよそ 4% 改善されていることが分かる。これは提案手法により、各参加ピアの送信帯域の利用率が向上し、より多くのチャンクをピア間で転送するようになったためである。より多くのチャンクを取得できるので、オリジナルの動画により近い品質での受信が達成できている。これにより、提案手法を用いることでピアの受信動画品質の向上を実現できるといえる。

また、本提案の改善率の有用性を示すため、サーバの送信帯域を変化させた際の各参加ピアの平均チャンク受信率から、提案手法によるサーバの配信コストへの効果について考察する。図 9 にサーバの送信帯域を変化させた際のピアの平均チャンク受信率を示す。

既存手法において 10 Mbps のサーバを用いた際の平均チャンク受信率が、提案手法において 5 Mbps のサーバを用いた際の平均チャンク受信率と、また、既存手法で 20 Mbps のサーバを用いた際の平均チャンク受信率が、提案手法において 10 Mbps のサーバを用いた際のチャンク受信率と同等であることが分かる。これより、提案手法によるチャンク受信率とほぼ一致していることが分かる。提案手法を用いることにより、既存手法において 2 倍の送信帯域のサーバを用いて配信を行ったときのチャンク受信率とほぼ同等

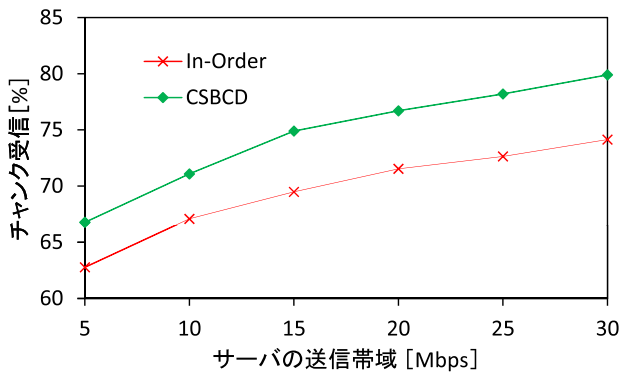


図 9 サーバの送信帯域の影響

Fig. 9 Chunk reception rate in various source upload bandwidth.

の受信率を達成できた。このことは、提案手法がサーバの配信コストを抑えるために有用であることを示しているといえる。また、一般ユーザが動画配信を行うモデルを想定した場合、より送信帯域が低いユーザも動画の配信ができるようになる。

5. おわりに

本論文では、過去に Offer された回数からチャンクの普及率を推定し、普及率の低いチャンクを優先して確率的に取得し転送することで、ピアのチャンク受信率を向上させる手法を提案した。本提案手法では、各ピアがチャンクごとの過去の Offer 回数を測り、Offer された回数が少ないチャンクをその時点で普及率の低いチャンクであると判断する。そして、Offer されたチャンクの中から、過去の Offer 回数が少ないチャンクを優先して Select することにより、そのチャンクの普及率を上げる。チャンクのピアへの普及の偏りを抑制することで、提供可能チャンクを別のピアに先に転送されてしまう確率が減り、送信帯域をより多く活用することができる。チャンク提供機会を増やし、ピアの帯域を有効活用することにより、ピアのチャンク受信率を向上させる。

また本提案手法を、シミュレーションにより既存手法との比較評価を行った。その結果、本提案手法は、チャンクによる普及率の分散を抑制し、各参加ピアの平均チャンク受信率を約 4%改善した。提案手法により、P2P ライブストリーミングサービスにおけるチャンク重複問題を解決し、システムの配信性能の向上を図ることができることを示した。これにより、既存手法において 2 倍の送信帯域のサーバを用いて配信を行ったときのチャンク受信率とほぼ同等の受信率を達成できた。配信コスト低下を目的とする P2P ライブストリーミングサービスにおいて、サーバの必要な送信帯域の低下を達成したことから、本提案手法の有用性を示した。

参考文献

- [1] Massoulié, L., Twigg, A., Gkantsidis, C. and Rodriguez, P.: Randomized Decentralized Broadcasting Algorithms, *Proc. IEEE INFOCOM*, pp.1073-1081 (2007).
- [2] Abeni, L., Kiraly, C. and Lo Cigno, R.: On the Optimal Scheduling of Streaming Applications in Unstructured Meshes, *IFIP Networking*, pp.117-130 (2009).
- [3] Sanghavi, S., Hajek, B. and Massoulié, L.: Gossiping With Multiple Messages, *Proc. IEEE INFOCOM*, Vol.53, pp.4640-4654 (2007).
- [4] Bonald, T., Massoulié, L., Mathieu, F., Perino, D. and Twigg, A.: Epidemic Live Streaming: Optimal Performance Trade-offs, *Proc. ACM SIGMETRICS*, pp.325-336 (2008).
- [5] Matsumoto, K., Endo, R. and Shigeno, H.: CAS: P2P File Sharing Method Considering Rarity Problem of Blocks, *IPSJ Journal*, Vol.51, No.6, pp.1310-1319 (2010).
- [6] Small, T., Liang, B. and Li, B.: Scaling Laws and Trade-offs in Peer-to-Peer Live Multimedia Streaming, *Proc. ACM MM*, pp.539-548 (2006).
- [7] Lobb, R., da Silva, A.P.C., Leonardi, E., Mellia, M. and Meo, M.: Adaptive Overlay Topology for Mesh-based P2P-tv Systems, *ACM 18th NOSSDAV*, pp.31-36 (2009).
- [8] Locher, T., Meier, R., Schmid, S. and Wattenhofer, R.: Push-to-pull Peer-to-peer Live Streaming, *Proc. International Conference DISC*, pp.388-402 (2007).
- [9] Fortuna, R., Leonardi, E., Mellia, M., Meo, M. and Traverso, S.: QoE in Pull Based P2P-TV Systems: Overlay Topology Design Tradeoffs, *Proc. IEEE 10th International Conference on P2P*, pp.1-10 (2010).
- [10] [Online], available from <http://www.napa-wine.eu>



酒田 良樹 (学生会員)

2012 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在、同大学大学院理工学研究科修士課程在学中。



島山 翔 (学生会員)

2013 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在、同大学大学院理工学研究科修士課程在学中。



重野 寛 (フェロー)

1990年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。1997年同大学大学院理工学研究科博士課程修了。現在、同大学理工学部教授。博士(工学)。情報処理学会学会誌編集委員、同論文誌編集委員、同マルチメディア通信と分散処

理研究会幹事等を歴任。現在、情報処理学会高度交通システム研究会幹事、電子情報通信学会英文論文誌B編集委員、Vice Chair of IEEE ComSoc APB TAC。ネットワーク・プロトコル、モバイルコンピューティング、ITS等の研究に従事。著書『コンピュータネットワーク』(オーム社)、『ユビキタスコンピューティング』(オーム社)等。電子情報通信学会、IEEE、ACM各会員。