

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

酒田 良樹<sup>1,a)</sup> 高山 和幸<sup>1,b)</sup> 遠藤 伶<sup>1,c)</sup> 重野 寛<sup>2,d)</sup>

## 概要 :

P2P ライブストリーミングでは、ピアは受信した動画の他のピアへの送信も行うことにより、サーバの配信負荷を軽減している。動画はチャンクに分割されて配信され、各ピアはチャンクを受信し元の動画に復元することで視聴できる。Offer Select というピア間でのチャンク交換手法では、提供可能なチャンクを持つピアが、隣人ピアにそれらのチャンクを一覧として通知する。通知を受けた隣人ピアは、通知されたチャンク一覧から所望チャンクを選択する。この手法により、転送先ピアが保持しているチャンク情報を定期的に把握することなく、効率のよいチャンク送信ができる。しかし、Offer Select 方式では、近傍のピア同士で保持チャンクが重複し、共通の隣人ピアを持つ近傍ピアのうち一方がチャンク提供を行えないという問題が発生する。そこで本稿では、近傍のピアが保持していないチャンクを優先して受信するチャンク交換手法 CSBCD を提案する。CSBCD では、過去に Offer された回数が少ないチャンクを、近くのピアが保持していないチャンクであると推定し受信する。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、各ピアのチャンク受信率の改善を示す。

## A Chunk Scheduling based on Chunk Diffusion Ratio on P2P Live Streaming

**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 dispersion of chunk diffusion. Simulation results show that peers receive more chunks, which enables peers to watch higher quality.

### 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

リーミングでは、視聴者は動画が配信されると同時にライブで視聴でき、また配信者は撮影と同時にライブ中継としての配信もできる。

ライブストリーミングにおいて、サーバの動画配信の負荷を分散させる P2P ライブストリーミングというサービスがある。従来の client-server システムを用いた配信方式には、大規模な配信に適さないという問題点があった。client-server 方式では、動画配信は全てサーバが行うので、ユーザの要求がサーバに集中する。そのため、大規模なライブストリーミングを行う際には、サーバの台数を増やし

<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

<sup>2</sup> 慶應義塾大学工学部  
Faculty of Science and Technology, Keio University

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

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

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

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

たり広帯域の通信回線を導入したりする必要がある。P2P通信方式を利用したP2Pライブストリーミングでは、このようなサーバに配信負荷が集中する問題を解決することができる。P2P通信では、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送信も行うという手法を用いる。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事ができる。P2Pライブストリーミングでは、動画をチャンクと呼ばれるデータ単位に分割して扱う。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。チャンクを交換しあうピアを互いに隣人ピアと呼ぶ。

P2Pライブストリーミングにおいて、Offer Select方式[8]というピア間でのチャンク転送手法が研究されている。ピア間でチャンクを交換する際、隣人ピアがすでに保持しているチャンクの冗長な転送を防ぐため、どのチャンクを保持しているかというチャンク保持情報を隣人ピアと交換する必要がある。これまでに、いくつかの論文[1], [2], [3]においてピア間でのチャンク転送手法が研究されている。これらの研究では、隣人ピアとのチャンク保持情報の交換を瞬時にできるという理想状態を想定しチャンク転送手法の提案が行われてきた。Offer Select方式は、この情報交換のための待ち時間を考慮したピア間チャンク転送手法である。この手法では、まず送信ピアが提供可能なチャンクの一覧を提供先である受信ピアにOfferメッセージとして通知する。次に、Offerメッセージを受け取った受信ピアは、通知された一覧の中から自分の保持していない所望チャンクをランダムに選択し、Selectメッセージとして返信する。このOffer, Selectメッセージの送受信により、チャンク送信側のピアは、自分が提供できるチャンクのうち受信側の隣人ピアが所望するチャンクを把握することができる。その後実際にチャンクの転送を行う。隣人ピアは、チャンク受信後に提供側として他の隣人にOfferを行う。このOffer Select方式をP2Pライブストリーミングに用いることにより、情報交換の回数を削減でき、またシミュレーション時に情報交換のために発生する待ち時間の影響を考慮した分析を行うことができる。

しかし、Offer Select方式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送信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ないという問題が発生することがある。ピア間でチャンクが転送されていくうちに、ピアの能力差やピア間遅延などの影響により、チャンク拡散に偏りが発生することがある。そのため、P2Pネットワーク上で互いに近い近傍ピアと保持するチャンクが重複するというケースが発生する。この場合、チャンク受信後にそのチャンクを隣人ピアに提供しようとしても、他の近傍ピアに先に提供

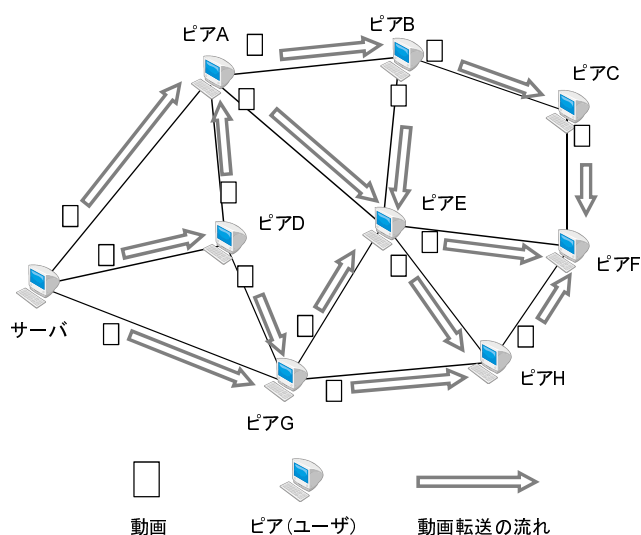


図1 P2Pライブストリーミングサービス

されてしまい、十分な送信帯域があってもチャンク提供を行うことができないことがある。チャンク提供が行えない分、参加ピアのチャンク受信数に影響が生じる。受信できなかったチャンクはそのピアにとってチャンク損失ということになり、受信動画の品質低下の原因となってしまふ。

そこで本稿では、チャンクの拡散率を考慮しピアがSelectを行うことで、チャンクの拡散の偏りを抑制し、ピアのチャンク取得率を向上させる手法を提案する。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、その時点で拡散率の低いチャンクと判断する。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Selectすることにより、そのチャンクの拡散率を上げる。チャンクの拡散の偏りを抑制することで、付近のピアに提供可能チャンクを先に転送されてしまう確率が減り、隣人の送信帯域をより多く活用することができる。

## 2. 関連研究

図1にP2Pライブストリーミング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。サーバは動画の配信を行う。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、他のピアへの送信も行う。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。チャンクを転送し合うピアを互いに隣人ピアと呼ぶ。ピア間でチャンク転送する際、送信先ピアがすでに保持しているチャンクを送信してしまうことを防ぐため、バッファマップと呼ばれる受信したチャンクの一覧を定期的に隣人ピア間で交換し合う。

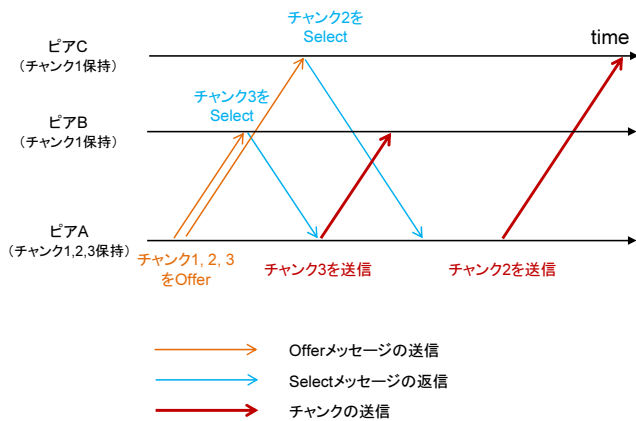


図 2 Offer Select 方式によるピア間のチャンク転送

チャンク情報交換にかかる転送遅延を考慮したチャンク交換手法として、Offer Select 方式というチャンクスケジューリング方式が提案されている [8]。バッファマップを交換するためにはそのピア間で転送にかかる時間の往復分の遅延が発生するが、多くの論文では、このバッファマップ交換を瞬間的に行える、もしくは交換を行うことなく隣人ピアの所持チャンクを把握できる前提にて研究がおこなわれている [1], [2], [3]。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。次に、Offer メッセージを受け取った受信ピアは、通知された一覧の中から自分の保持していない所望チャンクをランダムに選択し、Select メッセージとして返信する。この Offer, Select メッセージの送受信により、チャンク送信側のピアは、自分が提供できるチャンクのうち受信側の隣人ピアが所望するチャンクを把握することができる。その後実際にチャンクの転送を行う。チャンクを受信したピアは、その後送信ピアとして他のピアに Offer メッセージを送信する。提供可能チャンクを保持するピアが定期的に Offer メッセージを隣人ピアに送信することで、連続的にチャンク転送が行われる。

図 2 に Offer Select を用いたピア間のチャンク転送の例を示す。図は、ピア A が隣人ピア B と C にチャンクを提供する様子を示している。まず、提供可能チャンク 1, 2, 3 を保持するピア A が、隣人ピア B と C に Offer メッセージとしてそれらのチャンクのリストを通知する。Offer メッセージを受信した隣人ピア B, ピア C は、通知されたチャンクの中からそれぞれ保持していないチャンク 3, チャンク 2 をランダムに Select する。そして Select したチャンクの一覧を、Select メッセージとして返信する。ピア A は、Offer メッセージ送信先ピアのうち、Select メッセージの返信が早かったピアから順次チャンク転送を行う。これにより、ピア C からの Select メッセージの返信を待つ間にピア B へチャンク転送を行うことができ、効率的なチャンク転送を実現できる。

Offer Select 方式において、自分のチャンク保持情報を通知するのは、隣人ピアにチャンクを提供する時のみである。受信側のピアは、送信側のピアの情報通知に対する返信を行うのみで、自ら情報を通知することはない。このことより、従来のチャンク交換手法と比較し、チャンク保持情報の交換回数を大幅に削減し、情報交換のために発生する遅延時間を抑えるチャンク交換を実現できる。また、メッセージの送受信によりチャンク保持情報の交換を行うこの Offer Select 方式を用いることにより、情報交換のために発生する遅延の影響を考慮した分析を行うことが可能となる。

しかし、この Offer Select 方式には、ほとんどのピアに受信されないチャンクが発生するという欠点がある。P2P ネットワークの特徴として、送信帯域やピア間の転送遅延時間にばらつきがあるため、チャンクの拡散の過程でこれらの影響を受け、チャンクごとに拡散に偏りが発生する可能性がある。このように拡散が進んでいるチャンクと拡散していないチャンクに差がある状況下では、P2P ネットワーク上で互いに近い近傍ピアが同じチャンクを集中して受信することがある。同じチャンクばかりを持つこれらのピアに共通の隣人がいた場合、チャンク提供を行えるのは一方のピアのみとなる。

図 3 は、互いに近傍であるピア C と D が同じチャンク 1 を重複して保持してしまう様子を示している。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 B 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、Offer される回数はチャンク 2 よりチャンク 1 の方が多いため、ピア C と D の両方がチャンク 1 を受信する可能性が高いと考えられる。実際にピア C, D とともにチャンク 1 を受信したとすると、その後両方のピアが共通の隣人 E にチャンク 1 を Offer する。この場合、ピア C がピア E にチャンク 1 を提供してしまっているため、ピア D は十分な送信帯域があってもチャンク送信を行うことができない。また、ピア B と C に選ばれなかったチャンク 2 についても拡散が止まってしまう。このように、互いに独自に受信チャンクを Select しているために、保持チャンクの重複によるチャンク拡散の偏りが発生する可能性が考えられる。P2P ネットワーク上で互いに近傍に存在するピアは共通の隣人を持っていることが多いので、実際にこのような事態は起こり得ると考えられる。

このような拡散率の低いチャンクの発生を抑える手法として Offer 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 Offer 頻度には上限がある。図 3 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、Select されなかったチャンク 2 を次に Offer された際に受信すれば拡散が止まってしまうピアの発生を避けることができる。しかし、現在の P2P ライ

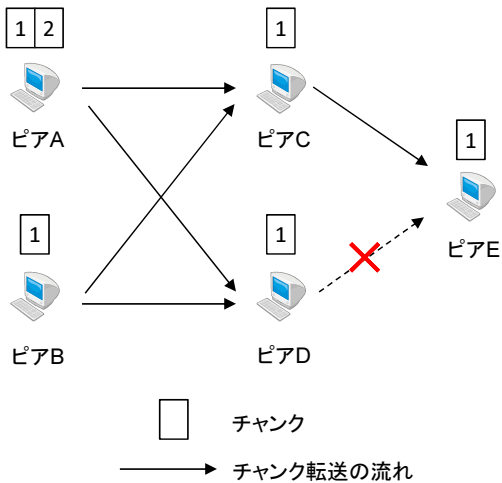


図 3 付近のピアとの保持チャンクの重複

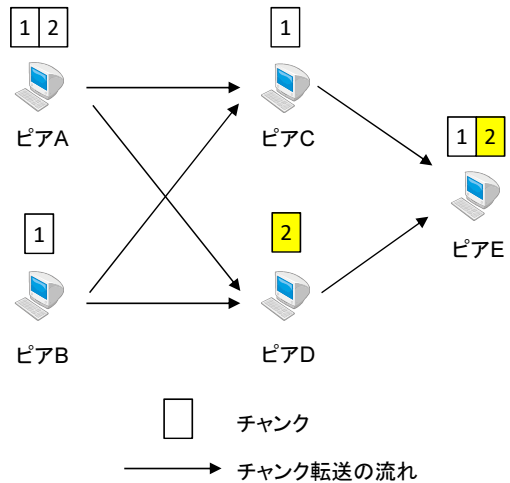


図 4 CSBCD を用いたピア間のチャンク転送

ブストリーミングにおいて、ほとんどのピアは ADSL 回線を介してネットワークに参加している [9]。従って、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ため、Offer 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 Offer される機会が限られるため、一回の Offer がそのチャンクの拡散に大きく影響する。以上より、一回の Offer でチャンクを均等に拡散させることが重要となる。

### 3. 提案

本稿では、P2P ライブストリーミングサービスにおいて、チャンクの拡散率を考慮しピアが Select を行うことで、チャンクの拡散の偏りを抑制し、ピアのチャンク取得率を向上させる手法 CSBCD (Chunk Scheduling Based on Chunk Diffusion ratio) を提案する。各ピアがチャンクごとの過去の Offer 回数をカウントし、Offer された回数が少ないチャンクを、その時点で拡散率の低いチャンクと判断する。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 Select することにより、そのチャンクの拡散率を上げる。チャンクの拡散の偏りを抑制することで、付近のピアに提供可能チャンクを先に転送されてしまう確率が減り、隣人の送信帯域をより多く活用することができる。

#### 3.1 CSBCD

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、チャンクの提供機会を増やすようにする。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することができ、配信サーバの配信トラフィック量を低減できる。図 4 に、CSBCD を用いたチャンク転送の例を示す。CSBCD において、この図の場合では、ピア D は近傍のピア C がチャンク 2 を保持していないと推測し、チャンク 2 を受信する。これによ

りピア C と D が異なるチャンクを保持するので、両方のピアが共通の隣人であるピア E にチャンクを送信することができる。また、チャンク 1 と 2 が均等に拡散するので、以降近隣ピアとのチャンク重複を減らすことができる。

既存の Offer Select 手法では、図 3 のようにピア C と D の両方が同じチャンク 1 を受信する可能性があった。その場合、共通の隣人であるピア E にチャンク転送を行うことができるのは、ピア C と D のうちどちらか一方のみとなる。そのため、ピアの送信帯域を活用することができず、またチャンク間の拡散にも差が発生してしまう。CSBCD を用いて、既存手法に見られるような付近のピアとの受信チャンクの重複を抑えることにより、ピアの送信帯域を有効に活用し、ピアのチャンク受信率を向上させる。

#### 3.2 チャンクの拡散率

CSBCD では、Offer されたチャンクの中から、付近のピアが保持していない、すなわち付近のピアへの拡散率が低いチャンクを Select する。本提案手法では、チャンクごとに Offer された回数を各ピアがカウントし、過去に Offer された回数でそのチャンク拡散率を推定する。近傍のピアに多く拡散しているチャンクは、自分に Offer が来る確率も高いと考えられる。このようなチャンクを受信した場合、そのチャンクを他のピアに Offer しても、すでに他のピアに提供されてしまっている可能性が高い。そこで、過去に Offer された回数が少ないチャンクを、付近のピアが所持していないチャンクであると推定し、優先して Select する。

各ピアは隣人ピアからチャンクを Offer されたら、チャンクごとにその回数をカウントし、リストとして保持しておく。隣人ピアに Offer されたチャンクから受信するチャンクを Select する際、各チャンクについて過去の Offer 回数を参照する。過去の Offer 回数が少ないチャンクから Select し受信を行う。

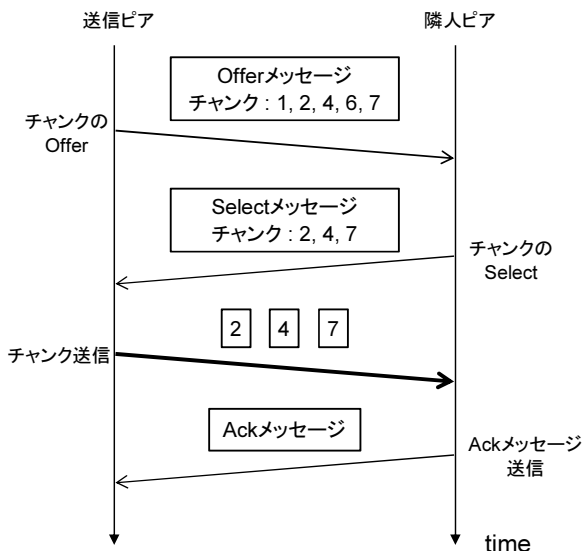


図 5 CSBCD におけるチャンク転送手順

### 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

最初に、サーバピアを含む全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、トラッカーなどの管理サーバを用いる手法である [5]。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、トラッカーなどを用いない手法として、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、隣人を決定する方法が挙げられる [6][7]。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ケースが多い。

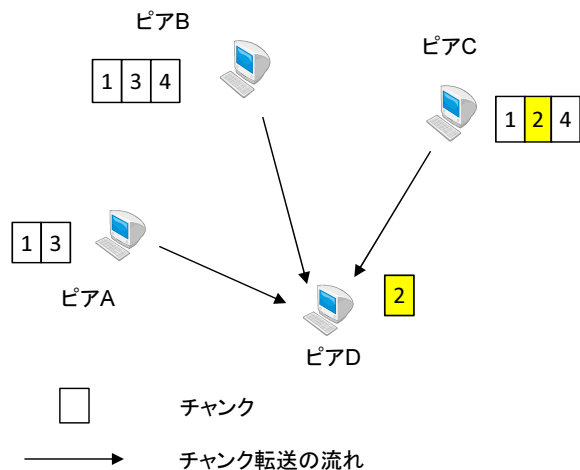
これらの手法で参加ピアの情報を受け取り、帯域や接続遅延などを考慮し隣人ピアを決定する。

#### 3.3.2 サーバのチャンク配信

サーバ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。初めにサーバは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。それぞれのチャンクにはプレイアウト遅延という締切時間が設定されている。各チャンクはサーバから配信されてから一定時間以内にピアに受信されなければならない。プレイアウト遅延を過ぎたチャンクは以降ピア間で転送が行われない。全てのチャンクのプレイアウト遅延の超過を持って、動画の転送は終了する。

#### 3.3.3 ピアのチャンク Offer

各参加ピアは CSBCD に従いチャンクの送受信を開始する。本稿では、1 つのピアがサーバとして動画を保持していて、他のピアに転送するシステムを考慮する。サーバピアと同様に、一般のピアも動画を他のピアに転送する。そ



ピアDのリスト	
チャンクID	過去にOfferされた回数
1	3
2	1(最も少ない)
3	2
4	2

図 6 拡散率の推定によるチャンク Select

それぞれのピアは、プレイアウト遅延内のチャンク、すなわち提供可能なチャンクを保持しているときに、定期的に隣人に Offer メッセージを送信する。Offer メッセージには提供可能チャンクの一覧が含まれている。なお、Offer メッセージを送る際、送り先のピアは隣人ピアから一部のピアを選んで送信することとする。これは、多くの Select メッセージが返信され、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。

#### 3.3.4 ピアのチャンク Select

Offer メッセージを受信した隣人は、メッセージに含まれるチャンクの一覧から所望チャンクを Select し、Select メッセージとして返信する。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。CSBCD において、所望チャンクの Select は、チャンクの拡散率を推定して行う。その手法は次節で説明する。

#### 3.3.5 チャンク送信

上記の情報交換により、Offer メッセージを送信したピアは、隣人ピアの所望するチャンク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

全ての要求したチャンクを受信後、隣人ピアは ACK メッ

セージを返信する。その後、チャンクを受信した隣人は、提供側として他の隣人に Offer メッセージを送信する。

### 3.4 拡散率の推定によるチャンクの Select

Offer メッセージを受信したピアは、Offer されたチャンクの中から近傍ピアへの拡散率が低いと推定されるチャンクを優先して Select する。ここではその具体的な手法を説明する。

#### 3.4.1 CSBCD におけるチャンク拡散

図 6 に、CSBCD におけるチャンク拡散率の推定の例を示す。各ピアは、Offer メッセージを受信したら、チャンクごとに 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 されたチャンクの一覧から、過去の Offer 回数が少ないチャンクから選択し、Select メッセージとして返信する。

図では、ピア D がピア C からチャンクを Offer されている様子を示している。ピア D は、以前にピア A と B から Offer を受けており、それぞれのチャンクを Offer された回数が図中のリストの通りであるとする。簡単のために、一度の Offer に対しピアが Select できるチャンクの数とは 1 つであるとする。この場合、ピア C から Offer されたチャンクの中で最も Offer された回数が少ないものはチャンク 2 である。したがって、ピア D は、チャンク 2 を近くのピアに拡散していないチャンクと推定し、チャンク 2 を Select する。ピア D は、Select したチャンクの一覧を含む Select メッセージをピア C に返信する。

#### 3.4.2 チャンクの Select 数

一回の Offer に対し Select するチャンクの数、チャンク転送の効率に大きな影響を及ぼす。Offer メッセージを受信したピアは、Offer されたチャンク一覧の中から、定められた上限数まで所望チャンクを Select する。Offer を受けたピアが所望チャンクを要求しすぎると、Offer を行ったピアの提供能力を超えてしまう。その場合、チャンク送信のための待ち時間が発生し、チャンク転送効率の低下の原因となる。そこで、ピアは必要最低限のチャンクのみ Select する必要がある。

#### 3.4.3 拡散率の推定ができないときの動作

チャンク拡散率の推定が困難である場合は、既存手法と同様 Select するチャンクをランダムに選出する。このケースに該当するのは、過去に Offer された回数が同じチャンクが複数ある場合である。動画配信初期は、チャンクの受信が行われる前であり過去の Offer 回数のデータが収集できていないので、Offer されたチャンクの拡散率を比較することができない。また、Offer されたチャンクについて、過去の Offer 回数が同じチャンクが複数あった場合も比較が行えない。このように過去の Offer 回数が同じチャンクが複数あり、それらの中から Select するチャンクを決定する場合は、ランダムに Select を行うこととする。

表 1 シミュレーション条件

シミュレータ	P2PTV-sim
参加ピア数	500
隣人数	20
隣人選択手法	帯域意識
平均ピア送信帯域	1.3 Mbps
最大ピア間遅延	0.36 sec
チャンク数	3000
チャンクサイズ	100 kbit
ビデオレート	1.168 Mbps
プレイアウト遅延	5 sec
チャンク Select 数	1

## 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、既存手法との比較評価を行う。本稿では、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。

### 4.1 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。本稿では 500 ピアが参加する帯域意識の P2P ネットワークを採用する。各ピアは隣人として 20 ピアを選択する。これに自分を隣人として選択したピアも加わるので、最終的な各ピアの隣人数は平均約 40 ピアとなる。サーバの送信帯域は 5Mbps 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ーの 4 つのクラスに分類される。

本稿では参加ピアの 1 つがサーバ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。簡単のために、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 100kbit とし、動画は 3000 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 1.168Mbps とし、したがって動画の長さは 256.8 秒となる。プレイアウト遅延は 5 秒とし、各チャンクはサーバから配信されてから 5 秒以内にピアに受信されなければならない。このプレイアウト遅延を過ぎたチャンクはピア間で交換されない。一度の 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越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。これを踏まえ、今回はチャンクの Select 数として 1 を選択する。

以上のピアの分布と動画に関するシミュレーション条件は、既存手法の提案の際 P2P ライブストリーミングにおいて実際の使用環境を考慮し評価を行った [8] の条件を参考にしている。

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。

表 2 ピアの送信帯域

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

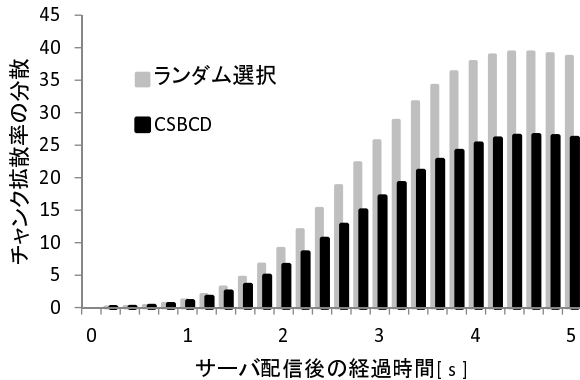


図 7 チャンク拡散率の分散

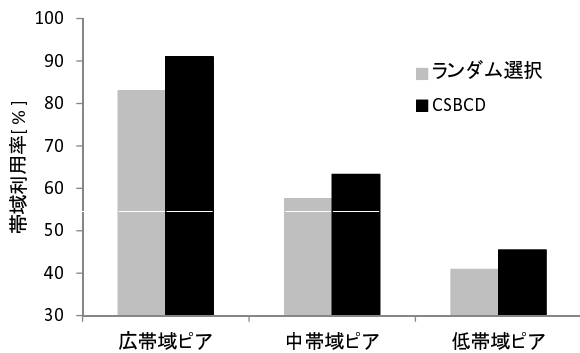


図 8 ピアの帯域利用率

#### 4.2 チャンク拡散率の分散

図 7 に既存手法と CSBCD におけるチャンク拡散率の分散を示す。チャンクの拡散率とは、そのチャンクがサーバから配信されてからその時まで、全ピアのうちいくつかのピアに到着しているかの割合を示したものである。グラフはチャンクごとに拡散率を計測し、その分散を示したものである。この分散が大きいほど、サーバから配信されてから拡散が進むチャンクと、時間が経過しても拡散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、チャンクによる拡散率の分散が小さいことが分かる。これより、CSBCD において、チャンクごとの拡散率の差の発生を抑えられていることがわかる。CSBCD では、拡散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、チャンクごとの拡散率の最終的な差を抑えることができたと考えられる。

#### 4.3 ピアの帯域利用率

次に、チャンクの均等な拡散が、参加ピアの帯域利用に

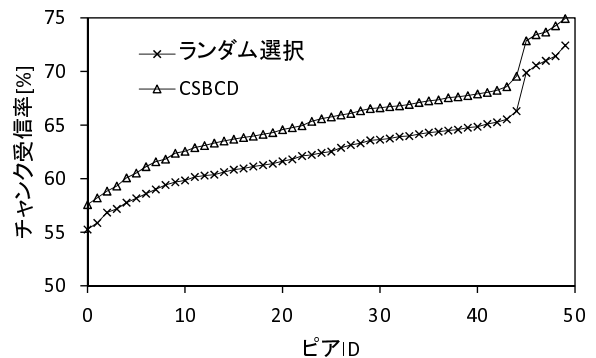


図 9 チャンク受信率

及ぼす影響について考察する。図 8 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わかる。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と考えられる。既存手法では、先述のとおりチャンクのピアへの拡散率の分散が大きくなる。拡散しているチャンクとしていないチャンクの差が大きく、付近のピアと同じチャンクを保持していることが多かった。そのため自分が提供可能なチャンクが既に他のピアに提供されていて、隣人にチャンクを送信できないというケースが発生していた。CSBCD を用いてチャンクごとの拡散率の分散を削減することにより、隣人との保持チャンクの重複を抑えることができる。これにより隣人にチャンクを送信する機会が増加し、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と考えられる。

#### 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 9 において横軸は各参加ピア、縦軸はピアのチャンク取得率を示しており、横軸のピアはチャンク取得率でソートしてある。

CSBCD において、各ピアのチャンク取得率が既存手法と比べておよそ 4% 改善し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言える。

また、改善率の効果を示すために、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取得率から、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 10 にサーバの送信帯域を変化させた際のピアの平

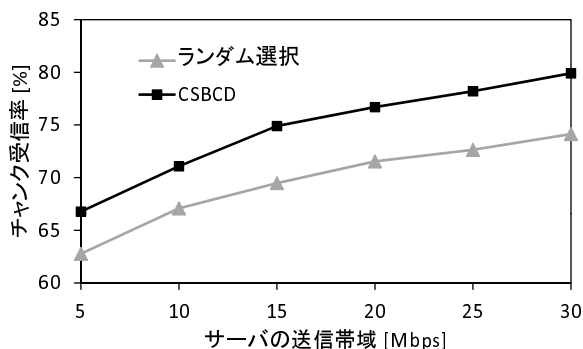


図 10 サーバの送信帯域の影響

均チャンク取得率を示す。

既存手法において 10Mbps のサーバを用いた際の平均チャンク取得率が、提案手法において 5Mbps のサーバを用いた際の平均チャンク取得率とほぼ等しいことがわかる。同様に、既存手法にて 20Mbps のサーバを用いた際の平均チャンク取得率が、提案手法の 10Mbps のサーバを用いた際のチャンク取得率と同等であることがわかる。これより、提案手法によるチャンク取得率とほぼ一致していることがわかる。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取得率とほぼ同等の取得率を達成できた。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ことができる。

## 5. おわりに

P2P ライブストリーミングにおいて、Offer Select 方式というチャンク交換手法がある。この Offer Select 方式には、提供可能なチャンクがすでに他のピアにより送信されてしまっているために、隣人ピアにチャンク提供を行えないことがあるという問題点がある。P2P ネットワーク上で互いに近いピア同士で保持チャンクが重複した場合、共通の隣人ピアに対していずれかのピアはチャンク提供を行うことができない。チャンク提供が行えない分、参加ピアのチャンク受信数が減少し、ピアの受信動画品質が低下してしまう。

そこで本稿では、チャンクの拡散率を考慮しピアが Select を行うことで、チャンクの拡散の偏りを抑制し、ピアのチャンク取得率を向上させる手法 CSBCD を提案した。本提案手法では、付近のピアが保持していない、すなわち付近のピアへの拡散率が低いチャンクを優先して受信することで、他のピアへのチャンク提供の機会を増やす。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、その時点で付近に拡散していないチャンクと判断する。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 Select することにより、付近のピアとの保持チャンクの重複を軽減する。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する。

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、各参加ピアの平均チャンク取得率を約 4% 改善した。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取得率とほぼ同等の取得率を達成できた。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] Massoulie, L.; Twigg, A.; Gkantsidis, C.; Rodriguez, P.; , “Randomized Decentralized Broadcasting Algorithms,” INFOCOM 2007. 26th IEEE International Conference on Computer Communications. IEEE , pp.1073-1081, 6-12 May 2007
- [2] Sanghavi, S.; Hajek, B.; Massoulie, L.; , “Gossiping With Multiple Messages,” Information Theory, IEEE Transactions on , vol.53, no.12, pp.4640-4654, Dec. 2007
- [3] da Silva, A.P.C.; Leonardi, E.; Mellia, M.; Meo, M.; , “A Bandwidth-Aware Scheduling Strategy for P2P-TV Systems,” Peer-to-Peer Computing , 2008. P2P '08. Eighth International Conference on , pp.279-288, 8-11 Sept. 2008
- [4] L. Abeni, C. Kiraly, and R. Lo Cigno, “On the optimal scheduling of streaming applications in unstructured meshes,” in IFIP Networking, Aachen, Germany, May 2009.
- [5] T. Small, B. Liang, and B. Li, “Scaling laws and trade-offs in Peer-to-Peer live multimedia streaming,” in ACM Multimedia, Santa Barbara, CA, USA, October 2006.
- [6] R. Lobb, A. P. Couto da Silva, E. Leonardi, M. Mellia, and M. Meo, “Adaptive overlay topology for mesh-based p2p-tv systems,” in ACM NOSSDAV, Williamsburg, Virginia, USA, June 2009.
- [7] T. Locher, R. Meier, S. Schmid, and R. Wattenhofer, “Push-to-pull peer-to-peer live streaming,” in Lecture notes in computer science, Berlin, Germany, 2007.
- [8] Fortuna, R.; Leonardi, E.; Mellia, M.; Meo, M.; Traverso, S.; , “QoE in Pull Based P2P-TV Systems: Overlay Topology Design Tradeoffs,” Peer-to-Peer Computing (P2P), 2010 IEEE Tenth International Conference on , pp.1-10, 25-27 Aug. 2010
- [9] [Online]. Available: <http://www.internetworldstats.com>
- [10] [Online]. Available: <http://www.napa-wine.eu>