

P2P Live Streamingにおける インセンティブを考慮したチャンクスケジューリングの提案

酒田 良樹^{1,a)} 畠山 翔^{1,b)} 重野 寛^{1,c)}

概要： P2P ライブストリーミングサービスでは，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．ピアに積極的にチャンクを送信させて配信サーバの送信負荷を下げるために，チャンク送信量に応じた量だけチャンク受信を許可するという，Tit-for-tat アルゴリズムが広く導入されている．しかし，既存手法では，隣人のチャンク保持情報の把握のために必要なバッファマップ交換がピアの送信帯域を圧迫し，チャンク転送が行えなくなるという問題点がある．そこで本論文では，インセンティブ P2P ライブストリーミングサービスにおいて，バッファマップ交換においても Tit-for-tat を導入しバッファマップ交換数を抑制する手法 BEMUT (Buffer Map Exchange Method Using Tit-for-tat) を提案する．提案手法により，ピアの帯域と隣人ピアのチャンク保持情報を考慮し適切にバッファマップ交換を行うことにより，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，各ピアの動画受信品質の改善を示す．

Buffer Map Exchange Method Using Tit-for-tat in Incentivized P2P Live Streaming Services

YOSHIKI SAKATA^{1,a)} SHO HATAKEYAMA^{1,b)} HIROSHI SHIGENO^{1,c)}

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ライブストリーミングサービスにおいて，P2P (peer-to-peer) 通信方式を利用しサーバのストリーミング配信の負荷を分散させる P2P ライブストリーミングサービスがある．従来の client-server システムを用いた配信方式には，大規模なストリーミング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サービスでは，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同一の動画を視聴している他のピアへの転送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えることにより，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サービスでは，動画をチャンクと呼ばれるデータ単位に分割し，ピア間で転送を行う．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サービスでは，ピアのチャンク送信量に応じてサーバの配信負荷が減るため，システムの動画配信性能の安定のためには，各参加ピアがより多くのチャンクを提供する仕組みが必要である．この課題に対し，インセンティブ P2P ライブストリーミングに関する研究が行われている [1], [2], [3], [4], [5]．本研究では，隣人ピアへのチャンク送信量に応じて受信品質が向上する Tit-for-tat 手法を用いてインセンティブを導入することで，各ピアのチャンク提供を促す．全てのピアは，各隣人ピア

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

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

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

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

からのチャンク受信量を計測する。そして、自分がチャンクを隣人ピアに提供する場合、自分に転送してくれたデータ量が多いピアから優先してチャンク提供を行う。これにより、隣人ピアに多くのチャンクを送信するほど提供先のピアがより大きい送信帯域を割り当てるため、結果として自らも多くのチャンクを受信し高画質に動画を視聴できるようになる。

しかし、このインセンティブ P2P ライブストリーミングサービスに関して、バッファマップ交換に必要な帯域が各ピアの送信帯域を圧迫し、チャンク提供量が減少するという問題がある。同一の動画の視聴を目的に P2P ライブストリーミングサービスに参加している各ピアは、ピア間でチャンクを転送するために、提供可能なチャンクのリストであるバッファマップを定期的に隣人ピアと交換する。バッファマップを受信した隣人ピアは、バッファマップに記載されているリストから未所持のチャンクを選択し、チャンク要求を返信する。そして、チャンク要求を受信したピアは要求に応じてチャンク転送を行う。ピア間でチャンク転送を行う度にバッファマップを交換する必要があるため、インセンティブの効果によりピアが多くのチャンク転送を行うと、その分必要なバッファマップの送受信数も増加する。各ピアは送信帯域を超えた配信を行うことはできないため、バッファマップ交換の増加により送信帯域が不足し、送信できないチャンクが発生することがある。最終的にピアがチャンクを受信できなかった場合は、再生品質の低下の原因となる。

そこで本論文では、インセンティブ P2P ライブストリーミングサービスにおいて、バッファマップ交換においても Tit-for-tat を導入し、バッファマップ交換数を抑制する手法 BEMUT (Buffer Map Exchange Method Using Tit-for-tat) を提案する。本提案手法では、ピアの帯域と隣人ピアのチャンク保持情報を考慮し、バッファマップ交換数を適切に決定する。また、バッファマップ交換を行う隣人ピアは、自分へのバッファマップ送信量に応じて選択する。このように、冗長なバッファマップ交換を削減し、適切な交換数を実現することにより、ピア間のチャンク転送に使用できる帯域が増え、各ピアはより高い受信品質を実現できる。

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 章にて結論を示す。

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

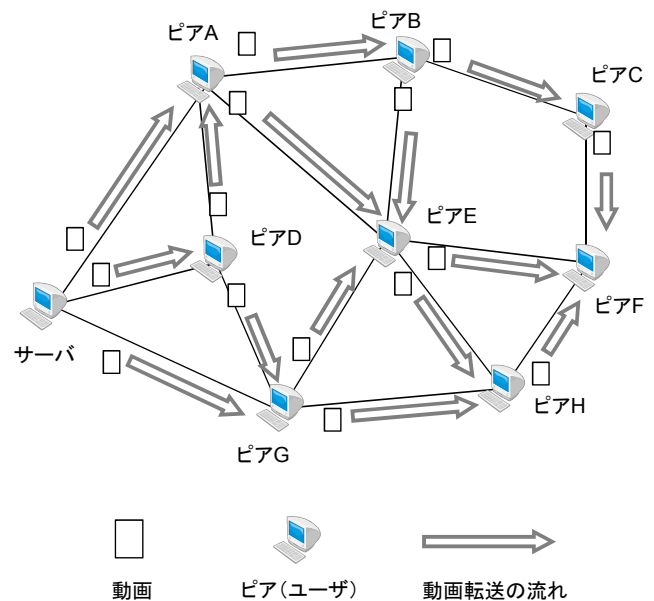


図 1 P2P ライブストリーミングサービス

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を行う際、送信先ピアが既に保持しているチャンクを冗長に送信してしまうことを防がなくてはならない。そこで、同一の動画の視聴を目的に P2P ライブストリーミングサービスに参加している各ピアは、ピア間でチャンクを転送するために、自分が保持しているチャンクのリストであるバッファマップを定期的に隣人ピアと交換する。各ピアは、バッファマップにより隣人ピアが保持していないチャンクを把握し、その中から自分が提供できるチャンクを送信する。

2.1 インセンティブ P2P ライブストリーミングサービス

P2P ライブストリーミングサービスでは、システムの動画配信性能の安定を実現するという課題がある。本システムでは、ピアがチャンク転送を行うため、帯域が小さくチャンク提供能力が低いピアが多かったり、ピアの離脱が頻発したりすると、システム性能が低下する。また、チャンク提供量にかかわらず全てのピアは同じ品質でビデオを受信するため、他のピアへのチャンク提供を行わないピアが存在することがあり、システム性能の低下の原因となる。そのため、安定したシステムを実現するためには、各参加ピアがより多くのチャンクを提供する仕組みが必要である。この課題に対し、インセンティブ P2P ライブストリーミングサービスに関する研究が行われている [1], [2], [3], [4], [5]。

本研究では、隣人ピアへのチャンク送信量に応じて受信品質が向上する Tit-for-tat 手法を用いてインセンティブを導入することで、各ピアのチャンク提供を促す。全てのピアは、自分にチャンクを提供してくれる隣人ピアに関してチャンク受信量を計測する。そして、自分がチャンクを提供する際、自分に転送してくれたデータ量が多いピアから優先して提供先を選択する。さらに、それらの隣人に、自分に転送してくれたデータ量に応じてアップロード帯域を割り当てる。これにより、隣人ピアに多くのチャンクを貢献するほど提供先のピアがより大きい送信帯域を割り当てるため、結果として自らも多くのチャンクを受信し高画質に動画を視聴できるようになる。

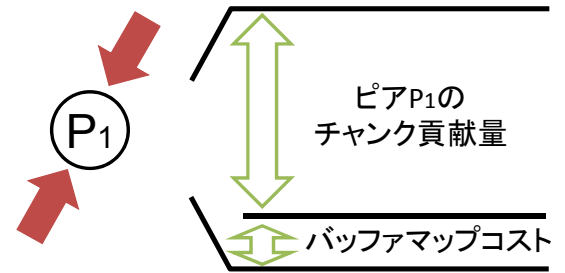
2.2 問題点

しかし、このインセンティブ P2P ライブストリーミングサービスに関して、ピア間でのバッファマップ交換に必要な帯域が各ピアの送信帯域を圧迫し、チャンク提供量が減少するという問題がある。ピア間でチャンク転送を行う度にバッファマップを交換する必要があるため、インセンティブの効果によりピアが多くのチャンク転送を行うと、その分必要なバッファマップの送受信数も増加する。各ピアは送信帯域を超えた配信を行うことはできないため、バッファマップ交換の増加により送信帯域が不足し、送信できないチャンクが発生することがある。最終的にピアがチャンクを受信できなかった場合は、再生品質の低下の原因となる。

図 2 のように、全ピアでバッファマップ送受信数を調整することを考える。この場合、バッファマップ送受信数によって受信品質低下の要因が異なるという問題がある。バッファマップ送受信数を全てのピアで少なくしていった場合の利点として、バッファマップコストが低減されることでチャンク提供に利用できる帯域は増加する。ここで、バッファマップコストとは、バッファマップの送信のためにピアが利用した送信帯域の使用量である。この状況では、バッファマップ送受信数が少なくなるので、ピアのチャンク所持状況が把握できなくなる。そのため、ピアが所望するチャンクを発見する確率が低下してしまい、結果として受信品質低下の原因となる。一方、バッファマップを多くしていった場合の利点として、隣人のチャンク所持状況を正確に把握することができ、ピアの所望するチャンクを発見できる可能性が高くなる。しかし、バッファマップコストが増加することでチャンク転送に利用できる帯域が圧迫され、チャンク転送が行えないために受信品質が低下することがある。

以上のように、各ピアのチャンク交換頻度を下げることによりバッファマップの交換数を抑制できるが、ピア間でのチャンク転送の機会が減少してしまう。また、バッファマップを交換する隣人数を抑制する手法も考えられるが、

バッファマップ送受信少



バッファマップ送受信多

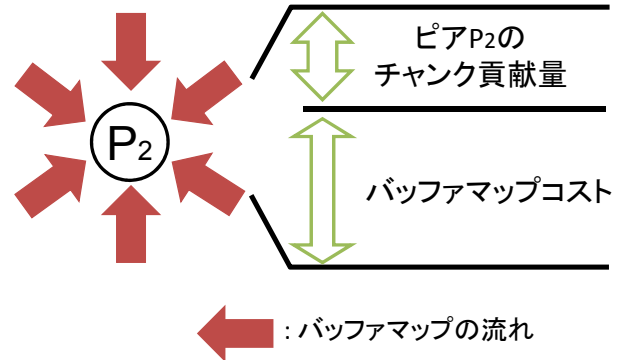
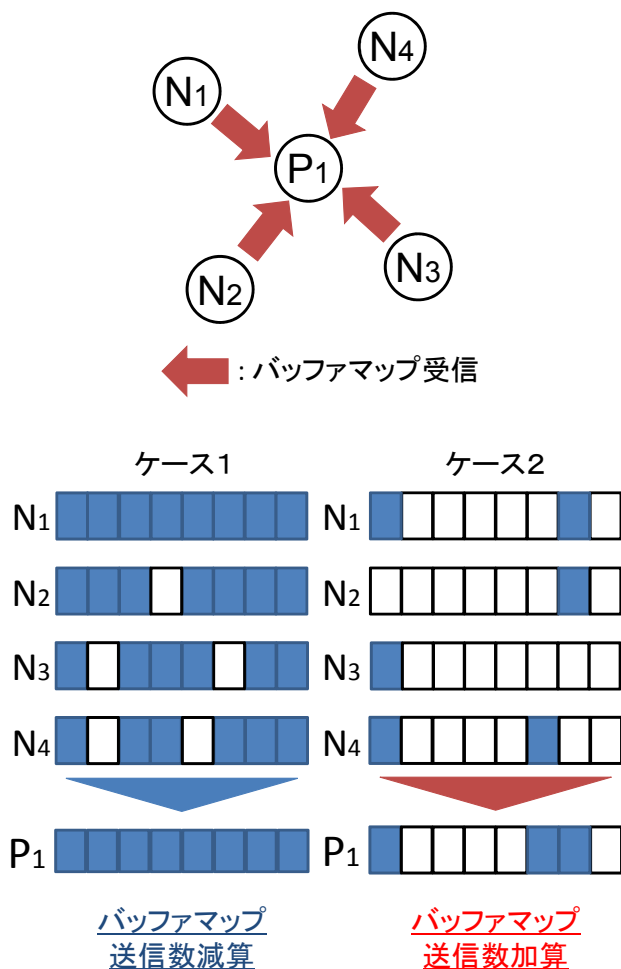


図 2 バッファマップ送信数調整の問題

この場合隣人ピアが保持していないチャンクを発見することが難しくなり、受信できないチャンクが増加する。チャンク交換の頻度を変えずに、バッファマップ交換頻度のみを抑制する手法も考えられるが、この場合各ピアの時間経過に伴うチャンク取得状況がバッファマップに反映されず、隣人の未所持チャンクを正確に把握することができなくなる。このように、全ピア一律でバッファマップの交換数を調整することは難しいため、ピアごとに適切なバッファマップ交換数を調整する必要がある。

3. 提案

本論文では、インセンティブ P2P ライブストリーミングサービスにおいて、バッファマップ交換においても Tit-for-tat を導入し、バッファマップ交換数を抑制する手法 BEMUT (Buffer Map Exchange Method Using Tit-for-tat) を提案する。本提案手法では、ピアの帯域と隣人ピアのチャンク保持情報を考慮しバッファマップ交換数を決定する。また、バッファマップ送信を行わない独善的なピアを排除するため、各ピアは自分へのバッファマップ送信量を考慮してバッファマップ交換を行う隣人ピアを決定する。冗長なバッファマップ交換を削減し、適切な交換数を実現することにより、ピア間のチャンク転送に使用できる帯域が増え、各ピアの動画受信品質を向上させる。

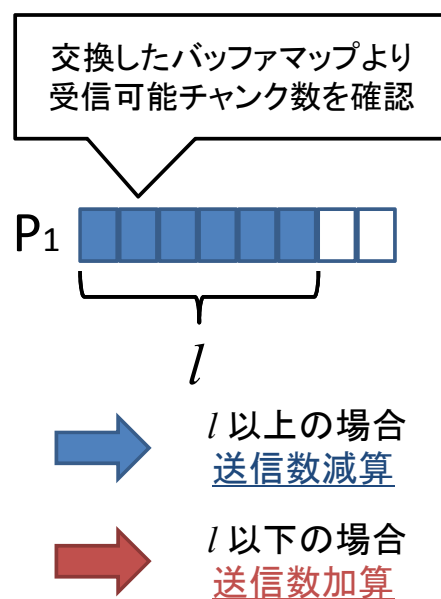


3.1 バッファマップ送信数

BEMUT では、各ピアは、自分の持つ送信帯域と、バッファマップ交換により把握できる隣人ピアのチャンク保持状況に応じて、バッファマップ送信量を決定する。

各ピアは、途切れない動画の再生を行うため、現在の再生位置から一定時間先までの再生に必要となるチャンクを受信の対象とする。視聴中の動画において、現在の再生位置からチャンク受信の対象とする部分をスライディングウィンドウと呼ぶ。このスライディングウィンドウ内のチャンクのうち隣人が保持してチャンクの数、バッファマップ交換により把握することが出来る。この数を受信可能チャンク数と呼ぶ。このチャンク数に応じて、自らのバッファマップ送信量を調整する。

図 3 に、スライディングウィンドウ内のチャンク情報の取得に応じたバッファマップ交換の例を示す。図では、ピア P1 が、隣人ピア N1、N2、N3、N4 からバッファマップを受信した状況を示している。ケース 1 のように、受信可能チャンク数が多い、すなわち隣人ピアから受信したバッファマップによりスライディングウィンドウ内のチャンク保持情報が多く集まる状況では、所望チャンクの発見率を減らすことなくチャンクのバッファマップ交換数を減らす



ことができる。一方、ケース 2 のように、受信可能チャンク数が少ない場合には、未所持チャンクを提供してくれるピアを発見するため、ピアはバッファマップの送信数を増やす。

バッファマップ送信数の増減の判断のために、図 4 のように受信可能チャンク数に閾値 l を設定する。バッファマップ送信数と閾値 l を比較し、受信可能チャンク数が小さい場合はバッファマップ送信数を増やし、受信可能チャンク数が大きい場合はバッファマップ送信数を減らす。この閾値 l は、各ピアの送信帯域の大きさに応じて決定することとする。広帯域ピアは、閾値 l が大きく設定されるため、受信可能チャンク数が少ない場合はバッファマップ送信数の減算は行わない。そのため、広帯域ピアは受信可能チャンク数が多くなり、動画の受信品質も高品質を維持できる。逆に低帯域ピアは閾値 l が小さく設定されるため、受信可能チャンク数が少ない場合でもバッファマップ送信数を減算することがある。そのため、低帯域ピアは広帯域ピアと比較しチャンク受信数は少なくなる。

3.2 バッファマップ送信先ピアの選択

BEMUT では、バッファマップ送信先ピアの決定に Tit-for-tat を用いる。各ピアは、自分にバッファマップを多く送信してくれるピアから優先して、バッファマップの送信先に指定する。これにより、隣人ピアにバッファマップを提供した量に応じて自分もバッファマップを提供できるため、バッファマップを多く送信できる広帯域ピアは多くのチャンクを受信することができる。

また、この Tit-for-tat を導入することで、バッファマップの隣人ピアへの提供を行わずに、バッファマップおよびチャンクの受信のみを行おうとする独善的なピアを防ぐこ

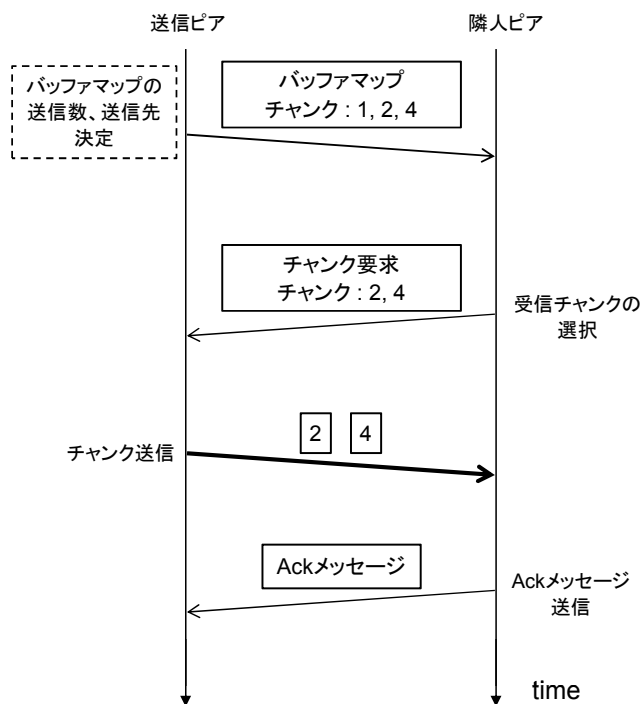


図 5 BEMUT を用いたピア間のチャンク転送

とができる。Tit-for-tat を用いず各ピアが分散的に Buffer map 送受信数を調節しようとした場合、ピアにとって最も都合のいい方法は、バッファマップの送信を行わず、受信のみを行うことである。このようなピアは、バッファマップ送信に帯域を使用することなく隣人ピアのチャンク所持状況を知ることができる独善的なピアであるといえる。このようなピアが存在すると、システムの配信性能の低下および破たんを招く可能性があります。そこで、バッファマップの送受信に Tit-for-tat を導入することで、このような独善的なピアの発生をなくし、ピアのバッファマップ送信を促進させる。

以上のように、バッファマップ送受信に Tit-for-tat を導入することで、ピアはバッファマップを送信した量だけバッファマップの受信が行えるようになり、バッファマップの送信数と受信数をバランスさせることができる。

3.3 BEMUT によるチャンク転送アルゴリズム

BEMUT 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 [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 [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、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 ピアのバッファマップ送信

各参加ピアは BEMUT 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、バッファマップを隣人ピアに転送する。バッファマップを送信する隣人の決定とバッファマップ送信数は、BEMUT による決定法に従う。バッファマップには提供可能チャンクの一覧が含まれている。

3.3.4 隣人ピアのチャンク選択

バッファマップを受信した隣人ピアは、バッファマップに含まれるチャンクの一覧から所望チャンクを選択し、チャンク要求を返信する。バッファマップにおいて提示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チャンク要求の返信は行わない。

3.3.5 チャンク送信

上記の情報交換により、バッファマップを送信したピアは、隣人ピアの所望するチャンクを把握することができる。バッファマップを送信したピアは、チャンク要求を受信した順番で隣人にチャンクを送信する。他の隣人からのチャンク要求の受信を待っている間に、ピアはすでにチャンク要求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

要求したチャンクを全て受信した後、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は、提供側として他の隣人ピアにバッファマップを送信する。

表 1 シミュレーション条件	
参加ピア数	200
ビデオレート	900 kbps
バッファマップ初期転送数	20
サーバ送信帯域	2000kbps
チャンクサイズ	1250byte
バッファマップ転送間隔	1 sec
最大再生遅延	5 sec
最大 BM 交換相手数 N_{max}	30
最小 BM 交換相手数 N_{min}	20
計測時間	50 sec

表 2 ピアの送信帯域	
送信帯域	存在割合 [%]
1800 kbps	14.9 %
1000 kbps	1.40 %
920 kbps	28.1 %
720 kbps	6.60 %
600 kbps	1.40 %
480 kbps	2.20 %
400 kbps	12.5 %
360 kbps	8.60 %
320 kbps	8.60 %
240 kbps	10.0 %

4. シミュレーション結果

提案手法 BEMUT の有用性を示すために、既存手法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。本稿では 500 ピアが参加する帯域を意識した P2P ネットワークを採用する。サーバの送信帯域は 5Mbps とする。なお、参加ピアの送信帯域ごとの分布は表 2 に示した通りとする。

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サービスを想定する。簡単のために、配信する動画は 1 つで、動画配信中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 1250kbit とする。動画のビデオレートは 900kbps とし、動画配信を 50 秒間行った場合を想定する。最大再生遅延は 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。この遅延時間を過ぎたチャンクはピア間で交換されない。

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。上記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サービスにおいて実際の使用環境を考慮し評価を行った [9] の条件を参考にしている。

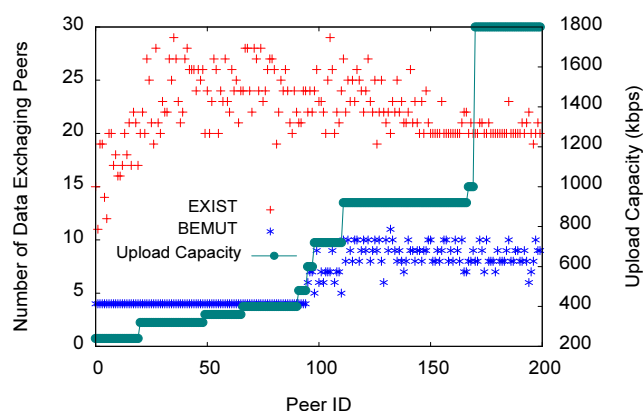


図 6 バッファマップの送受信数

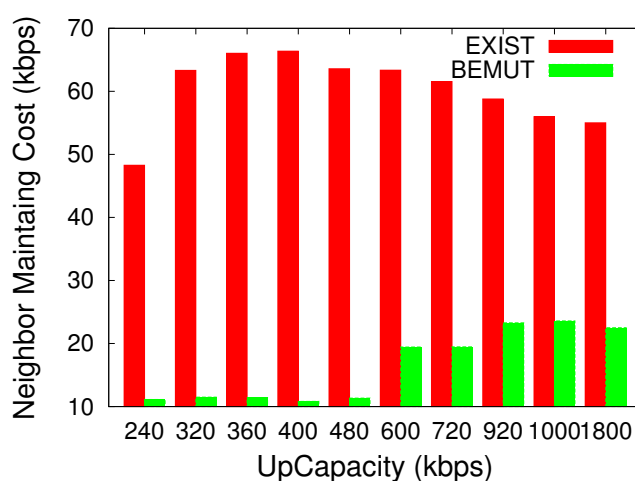


図 7 送信帯域ごとのピアの平均バッファマップコスト

4.2 バッファマップの送受信数

図 6 に既存手法と BEMUT におけるバッファマップの送受信数を示す。ここで、ピアのバッファマップ送受信数とは、測定期間中にそのピアが受信したバッファマップの数と送信したバッファマップの数の合計を示す。P2P ライブストリーミングサービスに参加している全てのピアについて、測定期間中にバッファマップを送受信した数を計測し、グラフに示した。赤いプロットが既存である固定 BM 交換数方式で、青いプロットが提案方式の BEMUT の結果である。また、パラメータで指定した各ピアの送信帯域も示した。

既存方式では、最も帯域が低いピアはインセンティブにより他のピアからのバッファマップ受信数が減少しているが、その他のピアは BM 送受信数はある一定の範囲内にあることがわかる。一方、提案方式において、ピアの送信帯域に応じてバッファマップ送信数を調整することにより、低帯域のピアはバッファマップ送受信数を抑え、広帯域のピアは BM 送受信数を増加させることができることが分かった。

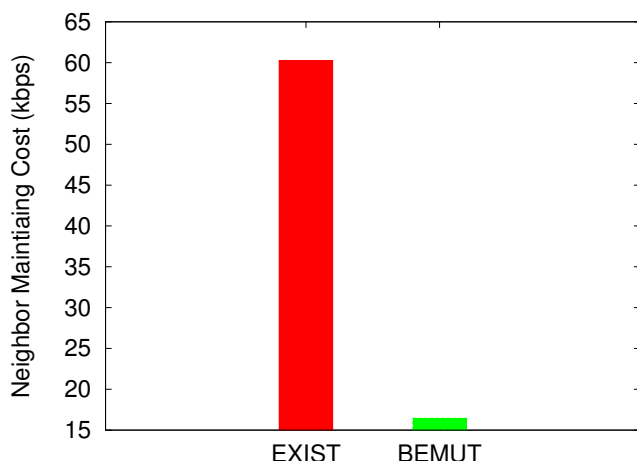


図 8 全ピアの平均バッファマップコスト

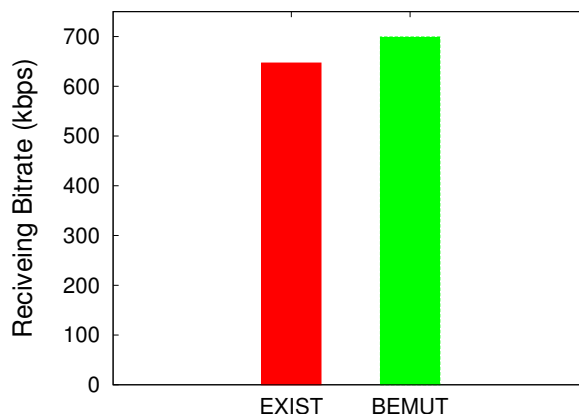


図 10 全ピアの平均動画受信品質

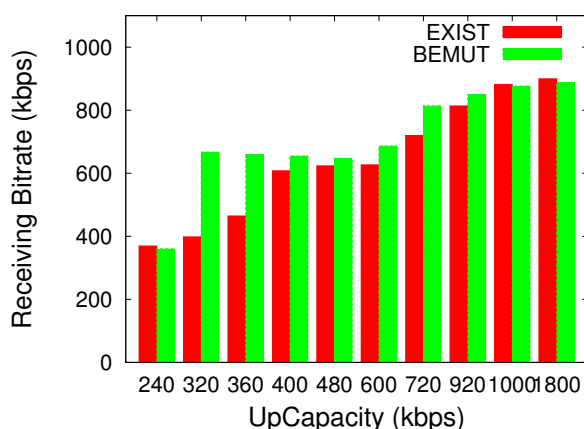


図 9 送信帯域ごとのピアの平均動画受信品質

4.3 バッファマップコスト

図 7 に、既存手法と BEMUT におけるバッファマップコストを示す。全ピアを送信帯域ごとにクラス分けし、それぞれのクラスに該当するピアについて平均バッファマップコストを計測した。既存手法において、バッファマップコストは送信帯域に関わらず一定の大きさを持っている。一方、提案手法 BEMUT において、このバッファマップコストを送信帯域によって調整することができていることがわかる。

また、図 8 に、全ピアにおけるバッファマップコストの平均を示す。既存手法と比較し、提案手法 BEMUT を用いることで、全ピアの平均ビットマップコストが 44kbps 低減している。本論文では、チャンク損失などが無い定常状態を想定してシミュレーションを行っている。そのため、提案手法 BEMUT を用いることにより、少ないバッファマップ交換でチャンクの受信予定を揃えることができ、結果として既存手法と比較し大幅にバッファマップコストを抑えることができる。

4.4 ピアのチャンク受信率

動画の転送における BEMUT の有効性を示すため、ピ

アの平均受信品質の評価を行った。図 9 において、全ピアを送信帯域ごとにピアをクラス分けし、それぞれのクラスごとにピアの平均受信品質を計測した結果を示す。グラフより、BEMUT を用いることにより、既存手法と比較して高画質に動画を視聴することが出来ていることがわかる。これは、バッファマップコストの削減分だけピア間のチャンク送受信に送信帯域を利用することができ、最終的に各ピアがより多くのチャンクを受信することができたためである。

また、図 10 に、全ピアにおける受信品質の平均を示す。グラフから、既存手法と比較し、ピアの平均受信品質が 53kbps 分だけ向上していることがわかる。これは既存手法に対して 7% の品質改善となる。この上昇分は、ピアのバッファマップコストの削減によりピア間のチャンク転送に利用できるようになった帯域量とほぼ等しい。BEMUT により増加したピア間チャンク転送に用いることができる送信帯域を、ピア間チャンク転送に有効に活用できていることがわかる。

5. おわりに

P2P ライブストリーミングサービスにおいて、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。ピアに積極的にチャンクを送信させて配信サーバの送信負荷を下げるために、チャンク送信量に応じた量だけチャンク受信を許可するという、Tit-for-tat アルゴリズムが広く導入されている。しかし、既存手法では、隣人のチャンク保持情報の把握のために必要なバッファマップ交換がピアの送信帯域を圧迫し、チャンク転送が行えなくなるという問題点がある。各ピアは送信帯域を超えた配信を行うことはできないため、バッファマップ交換の増加により送信帯域が不足し、送信できないチャンクが発生することがある。最終的にピアがチャンクを受信できなかった場合は、再生品質の低下の原因となる。

そこで本論文では、インセンティブ P2P ライブストリーミングサービスにおいて、バッファマップ交換においても Tit-for-tat を導入しバッファマップ交換数を抑制する手法 BEMUT (Buffer Map Exchange Method Using Tit-for-tat) を提案した。提案手法により、ピアの帯域と隣人ピアのチャック保持情報を考慮し適切にバッファマップ交換を行うことにより、ピアの送信帯域を有効に活用する。そして、バッファマップ交換を行う隣人ピアは、自分へのバッファマップ送信量に応じて決定する。冗長なバッファマップ交換を削減し、適切な交換数を実現することにより、ピア間のチャック転送に使用できる帯域を増加させる。

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、バッファマップ交換に必要な送信帯域を抑えることができ、ピア間のチャック転送に帯域を用いることで適切な帯域利用を実現できた。これより、BEMUT を用いることで、各参加ピアの平均動画視聴品質を約 7% 改善し、提案手法の有用性を示した。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 (B) 課題番号 25280032 (2013 年) の助成により行われました。

参考文献

- [1] Z. Liu, Y. Shen, K. Ross, S. Panwar, and Y. Wang, “Layerp2p: Using layered video chunks in p2p live streaming,” *IEEE Transactions on Multimedia*, pp.1340-1352, November, 2009.
- [2] H. Hu, Y. Guo, and Y. Liu, “Mesh-based peer-to-peer layered video streaming with taxation,” *Proceedings of the 20th international workshop on Network and operating systems support for digital audio and video(NOSSDAV '10)*, pp.27-32, June 2010.
- [3] Yufeng, S. and Kalyanaraman, S.: Hybrid video downloading/ streaming over peer-to-peer networks, *Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, Vol.2, p.II-665-8 (2003).
- [4] Sharma, A., Bestavros, A. and Matta, I.: dPAM: A distributed prefetching protocol for scalable asynchronous multicast in P2P systems, *Proc. IEEE INFOCOM*, Vol.2, pp.1139-1150 (2005).
- [5] Yi, C., Baochun, L. and Nahrstedt, K.: oStream: Asynchronous streaming multicast in application-layer overlay networks, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.22, No.1, pp.91-106 (2004).
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.

- [9] [Online]. Available: <http://www.internetworldstats.com>