

隣人ピア受信状況を考慮した モバイル端末間協調ライブストリーミング

畠山 翔^{†1} 酒田 良樹^{†1} 高山 和幸^{†1} 遠藤 伶^{†1} 重野 寛^{†1}

概要: 近年のスマートフォンの普及に伴い、モバイル・ライブストリーミング・システムの需要が増加している。Cellular-WiFi hybrid network は、各ピアが自身の携帯電話回線を用いてチャンクを取得しつつ、ピア間の無線直接通信でのチャンク交換によって、より多くのチャンクを受信することができる配信方式である。Cellular-WiFi hybrid network を用いた端末間協調ライブストリーミングでは、各ピアが自身の携帯電話回線で取得するチャンクを確率的に選択している。しかし、既存手法での取得チャンク決定においては、隣人ピアの携帯電話回線帯域変化を考慮していない。そこで本稿では、隣人ピアの受信状況を考慮することで自身の携帯電話回線使用量を適応的に変化させる手法 CSANR を提案する。CSANR では、ピア間で互いの受信状況を通知し合うことで隣人ピアの受信状況を把握する。そして、隣人ピアの携帯電話回線帯域が低下した場合には、自身が携帯電話回線で取得するチャンク数を増やす。その結果、スケジューリング時に選択されないチャンク数を減少させることができる。また、シミュレーションによって提案手法を評価し、携帯電話回線帯域の変化による影響の軽減を示す。

キーワード: モバイルアドホックネットワーク、ライブストリーミング、Cellular-Wifi ハイブリッドネットワーク

Cooperative Mobile Live Streaming Considering Neighbor Reception

Abstract: Recently, demand for mobile live streaming systems increase with the spread of smartphones. Cellular-WiFi hybrid network is the method that enables peers to exchange chunks directly each other on mobile ad hoc network, with gathering chunks from their own cellular network. Cooperative live streaming using Cellular-WiFi hybrid network, each peer randomly selects the chunks to be gained by their own cellular network. This method doesn't consider the change of their cellular network bandwidth. In this paper, we propose CSANR, the method changes peer's usage of their own cellular network adaptively by considering reception of neighbor peers. In my proposal, peer can know reception of neighbor by exchanging their information each other. If neighbor peer's bandwidth decrease, CSANR can avoid increase of the number of the chunk not to be selected from peers, by increasing the number of the chunks gained themselves. Simulation results show that CSANR can reduce the effect of peer's cellular bandwidth change.

Keywords: mobile ad hoc network, live streaming, Cellular-Wifi hybrid network

1. はじめに

リアルタイムな動画コンテンツをインターネット上で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。そして近年のスマートフォンの普及に伴い、モバイル端末向けのライブストリーミング・システムの需要

が増加している。モバイル端末は自身の携帯電話回線を用いてコンテンツの受信を行うが、携帯電話回線の帯域は変動が激しいために、高画質な動画コンテンツを連続的に視聴することは困難である。また、個々の端末が独立してコンテンツを要求することによって、余剰なトラフィックが増加するという問題点がある。そのため、動画のコーディング技術や P2P ネットワークを用いるなど、モバイル端末の特性を考慮したライブストリーミングの研究が数多く行

^{†1} 現在、慶應義塾大学大学院理工学研究科
Presently with Graduate School of Science and Technology,
Keio University

われている。

実距離の近いモバイル端末間においては、WiFi アドホック通信を用いた直接通信が可能である。複数の端末による WiFi アドホック通信で構成されるネットワークを Mobile Ad hoc Network (MANET) と呼ぶ。ここで、各端末をピアと呼び、互いに直接通信可能なピアを隣人ピアと呼ぶ。MANET の無線通信帯域を利用する配信方式として、携帯電話回線における通信と MANET でのアドホック通信を並行して行う Cellular-WiFi hybrid network が注目されている。Cellular-WiFi hybrid network では、全てのモバイル端末が自身の携帯電話回線を用いて通信を行うことができる。そして、隣人ピアが所望のデータを所持している場合、アドホック通信によってそのデータを受信できる。

Cellular-WiFi hybrid network を用いた端末間協調ライブストリーミングにおいては、各ピアが自身の携帯電話回線で取得するチャンクを確率的に決定する。しかし、各ピアが自身の携帯電話回線を用いて取得するチャンク数は、隣人ピアの数や携帯電話回線帯域の大きさに応じて適切に決定されなければならない。各ピアが取得するチャンク数が多すぎる場合、携帯電話回線における取得チャンクの重複が頻発することにより、余剰なトラフィックが発生する。一方、各ピアが携帯電話回線で取得するチャンク数が少ない場合には、スケジューリング時にどのピアも自身の携帯電話回線で取得するものとして選択しないチャンクが発生する。携帯電話回線帯域の低いピアはこのようなチャンクを自身では取得できない。そのため、携帯電話回線帯域の低いピアの画質が劣化するという問題がある。また、モバイル環境においては携帯電話回線帯域の変化やピア間接続の切断が起こるため、自身で取得するチャンク数をスケジューリングを行う度に計算し直す必要がある。

そこで本稿では、隣人ピアの受信状況を考慮することで、自身の携帯電話回線での取得チャンク数を適応的に変化させる手法 CSANR を提案する。CSANR では、事前に MANET 上における隣人間通信によって自身が携帯電話回線で取得するチャンク番号を通知し合い、隣人ピアが受信予定であるチャンクを把握する。そして、隣人ピアの携帯電話回線帯域の変化に応じて自身が携帯電話回線を用いて取得するチャンク数を変化させる。CSANR を用いることで、ピアの携帯電話回線帯域が大きく変化する状況下においても、それぞれのピアは適切な確率で自身が携帯電話回線で取得するチャンクを選択できるようになる。その結果、各ピアが自身の携帯電話回線を用いて取得するチャンク数の過不足を抑制し、少ない携帯電話回線使用量で高いチャンク受信率を得ることができる。

2. 関連研究

ライブストリーミング・サービスとは、リアルタイムな動画コンテンツをインターネット上で配信するサービスで

ある。過去に記録された動画コンテンツを配信する Video on Demand (VoD) サービスと異なり、ライブストリーミング・サービスにおいて配信される動画コンテンツはライブ配信されている動画のみである。そのため、同一の動画コンテンツを視聴する全てのユーザの再生位置は同じであるという特徴を持つ。

近年のスマートフォンの普及に伴い、モバイル端末向けのライブストリーミング・システムの需要が高まっている [1]。モバイル端末は、自身の携帯電話回線を用いて動画コンテンツを視聴する。しかし、携帯電話回線帯域は電波状況やユーザのモビリティにより変動が激しいため、高画質な動画コンテンツを連続的に視聴することは困難である。

そのため、Client-Server 方式を用いている多くのビデオ・プロパイダは、モバイル端末向けに動画を低画質にコーディングして配信している [2]。また、モバイル端末の特性を考慮した P2P ライブストリーミング・システムの研究も盛んに行われている [3] [4]。

実距離の近いモバイル端末間においては、端末に搭載された無線通信インタフェースを用いて基地局を介さずに直接通信することが可能である。このような端末間の無線環境における直接通信によって構成されるネットワークを Mobile Ad hoc Network (MANET) と呼ぶ。MANET を用いることで、携帯電話回線を使用せずに他のモバイル端末へ直接データを送ることが可能である [5]。

モバイル端末は、複数の無線通信インタフェースを並列的に使用することが可能である。この特性を利用し、携帯電話回線でのデータ取得と MANET を用いた端末間のデータ交換を同時に行う Cellular-WiFi hybrid network とよばれるネットワークを用いた配信方式が注目されている [6]。図 1 に Cellular-WiFi hybrid network のネットワーク構成を示す。Cellular-WiFi hybrid network では、全てのユーザが自身の回線を用いて自由にデータを取得することができる。また、隣人ピアが所望のデータを所持しているような場合には、MANET での通信によって隣人ピアからそのデータを受信することも可能である。

Cellular-WiFi hybrid network では、実距離の近いピア同士でチャンクの交換を行う。人気のスポーツの試合や有名アーティストによるライブの映像が配信されるような場合には、近距離にも同一の動画コンテンツを視聴しているユーザがいる可能性が高いと考えられる。このようなケー

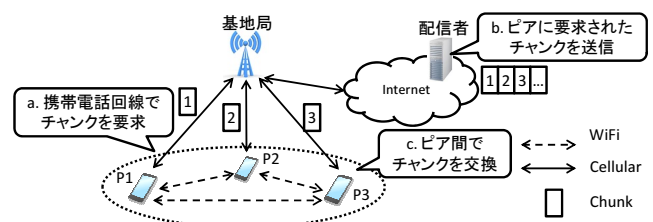


図 1 Cellular-WiFi hybrid network

スにおいて、Cellular-WiFi hybrid network を用いた配信方式は最も効果的である。

Cellular-WiFi hybrid network を用いた動画コンテンツ配信について研究が行われている [7], [8]. 3G-MOVi[7] は Cellular-WiFi hybrid network を用いた VoD システムであり、ピアの位置情報やコンテンツの所持状況、ピアの信頼度を表すトラスト値といった情報を一括管理する。そして、ピアへ接続可能な隣人情報を伝えることによって MANET を構成する。一部の動画コンテンツの配信をピアに行わせることで、配信者負荷の低減に成功した。[8] の文献では、Cellular-WiFi hybrid network を用いた効率的な動画広告の配信を目的とし、隣人ピアが協調するピア数やコンテンツの再生期限といった情報を基に自身が取得するデータを分散的に決定する手法を提案している。

ライブストリーミングでは、動画はチャンクと呼ばれる単位に分割して配信される。協調するピア間で別々のチャンクを携帯電話回線で取得するために、BitTorrent [9] を参考にした確率的なチャンク選択が用いられている [8]。しかし、ライブストリーミングでは全てのユーザの再生位置が同じであるため、ある時間に交換される対象となるチャンク数が少ない。そのような状況において、それぞれのピアが確率的にチャンクを選択して携帯電話回線で取得する場合、協調するピア間で取得するチャンクに重複が多く発生する。MANET 上でチャンク送信を行うことができるのは、重複がない場合のみである。そのため、各ピアが取得するチャンクが重複することで、WiFi アドホック通信帯域の利用効率が低下する。また、既存研究において携帯電話回線を用いて取得するチャンクの選択確率は、隣人数やチャンクの配信期限によって決定されている。しかし、ピアの携帯電話回線帯域が大きく変化する実際の状況においては、携帯電話回線帯域の低下したピアは上記の確率で選択したチャンクの一部を自身では取得できないことがある。その結果、スケジューリング時に携帯電話回線で取得するチャンクとして選択されないチャンク数が増加する。このようなチャンクをタイムアウトチャンク (T.O. チャンク) と定義する。T.O. チャンクを受信することができるのは、携帯電話回線帯域の大きなピアのみである。そのため、T.O. チャンクの発生は携帯電話回線帯域の低いピアの画質低下に繋がり、同一のチャンクを複数のピアが自身の携帯電話回線で取得することによって、余剰なトラフィックが発生する。このように、T.O. チャンクの発生により、スケジューリングの効率性が低下するという問題がある。

3. 提案

本稿では、隣人ピアの受信状況を考慮することで自身の携帯電話回線使用量を適応的に変化させる手法 CSANR (Chunk Select method Adaptive to Neighbor Reception) を提案する。CSANR では、事前に MANET 上における隣

人間通信によって自身が携帯電話回線で取得するチャンク番号を通知し合い、隣人ピアの受信状況を把握する。そして、隣人ピアの携帯電話回線帯域の変化に応じて、自身が携帯電話回線を用いて取得するチャンク数を変化させる。CSANR を用いることで、ピアの携帯電話回線帯域が大きく変化する状況下においても、それぞれのピアは適切な確率でチャンクを選択できるようになる。その結果、より低い携帯電話回線トラフィックで高いチャンク受信率を得ることができる。

3.1 チャンク転送方式

提案手法ではチャンク転送方式として、Offer-Select 方式 [10] を採用する。Offer-Select 方式は、有線の P2P ライブストリーミング・システムで用いられているチャンク転送方式である。この方式を MANET でのチャンク交換へ適用する。

図 2 に、Offer-Select 方式によるチャンク交換の流れを示す。Offer-Select 方式においては、それぞれのピアが自身の携帯電話回線で取得する予定のチャンク番号を Offer メッセージと呼ばれるパケットに付与して隣人ピアへ通知する。Offer メッセージを受信したピアはメッセージ情報として付与されたチャンク番号により、隣人ピアから受信できるチャンクを把握することが可能となる。そして、自身が取得する予定のないチャンクを取得するピアに対し、Select メッセージと呼ばれるパケットを送信することによってチャンクを要求する。

3.2 確率的なチャンク選択

n 人のユーザが協調して同一の動画コンテンツを視聴するシナリオを考える。すなわちピア数を n とする。 n ピアが協調し、それぞれが携帯電話回線を用いてチャンクを取得する際、最も効率的なのはそれぞれのピアが携帯電話回線を用いて取得するチャンクを互いに重複なく選択した場合である。すなわち、ある番号のチャンクを携帯電話回線で取得するピアは同一の MANET 上でただ 1 人であることが望ましい。それぞれのピアは取得する対象となるチャ

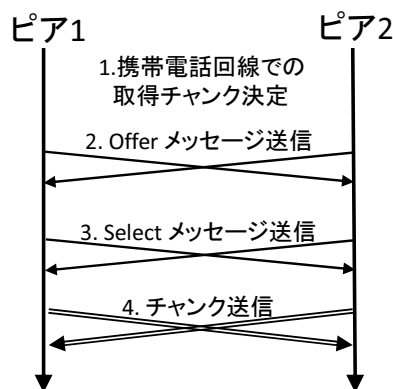


図 2 Offer-Select 方式によるチャンク交換

ンクの一部を確率的に選択し、自身の携帯電話回線を用いて取得するチャンクとしてスケジューリングする。この確率をチャンク選択確率 P と定義する。総チャンク数を N とし、 n ピアが N/n ずつチャンクを選択する状況が最も望ましいものと仮定すると、チャンク選択確率 P はピア数 n を用いて

$$P = \frac{1}{n} \quad (1)$$

と表せる。

式 (1) で定義したチャンク選択確率 P は、協調するピア数のみによって定められる値である。提案手法ではより効率的なスケジューリングを行うために、隣人ピアの携帯電話回線帯域を考慮してチャンク選択確率 P を決定する。

3.3 隣人ピア携帯電話回線帯域の推測

時刻 t において、それぞれのピアが N' 個のチャンクのスケジューリングを行うものとする。続いて、あるチャンクが同一のピアによって Offer される回数を n_{offer} とし、隣人数を n_{neighbor} とする。ここで、提案手法においてはフルメッシュのトポロジを想定しているが、MANET 上における通信障害によってピアが一時的にシステムから離脱する可能性を考慮し、時刻 t において通信可能な隣人数を $n_{\text{neighbor}}(t)$ とする。

N' 個のチャンクを n 人のユーザが協調して取得するため、1 人あたりが自身の携帯電話回線で取得することが期待されるチャンク数は N'/n である。この場合、各ピアは N'/n 個のチャンクを Offer することになる。この期待値を $E[O_{\text{expected}}(t)]$ とする。

しかし、実際には携帯電話回線帯域は低下することがあり、その場合に Offer できるチャンク数が N'/n よりも少なくなることがある。これが T.O. チャンクの発生に繋がりがり、スケジューリングの効率性を損なう要因となる。

ここで、提案方式におけるチャンク転送は Offer-Select 方式がベースとなっている。そのため、自身が携帯電話回線で取得できる分だけのチャンク選択を行い、選択したチャンク番号の一覧を Offer メッセージとして送信する。この前提に基づき、それぞれのピアは隣人ピアから提供可能チャンクとして Offer されたチャンク数を用いることで隣人ピアの携帯電話回線帯域の大きさを推測することが可能である。

時刻 t にあるピアが Offer されたチャンク数を $n_{\text{offered}}(t)$ とする。Offer メッセージの交換周期を t_w とすると、直前の t_w 秒間において実際に Offer されたチャンク数 O_{offered} は次式で得られる。

$$O_{\text{offered}}(t) = \int_{t-t_w}^t n_{\text{offered}}(t) dt \quad (2)$$

時刻 $t - t_w$ から t において、隣人ピア 1 人から Offer されるチャンク数の期待値 $E[O_{\text{expected}}(t)]$ と、実際に全隣人ピ

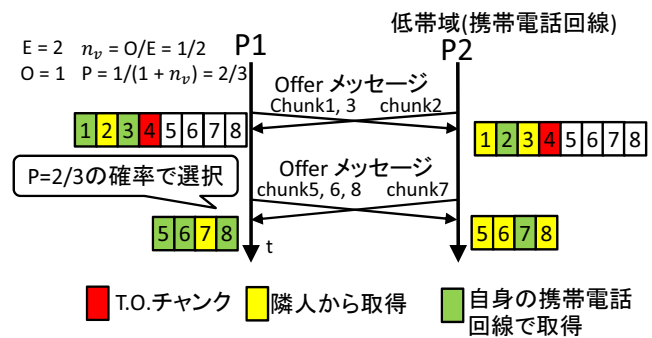


図 3 CSANR

アから Offer されたチャンク数 $O_{\text{offered}}(t)$ の比をとることで、隣人ピアの帯域を考慮した仮想的な隣人数を計算することができる。

$$n_v(t) = \frac{O_{\text{offered}}(t)}{E[O_{\text{expected}}(t)]} \quad (3)$$

すなわちあるピア i にとって、時刻 t においては $n_v(t)$ 人のユーザと協調していると見なすことができる。よってチャンク選択確率 P は、

$$P(t) = \frac{1}{1 + n_v(t)} \quad (4)$$

となる。CSANR では式 (4) を用いて自身の携帯電話回線で取得するチャンクを選択を行う。

実際に隣人ピアの携帯電話回線帯域変化へ対応している様子を図 3 に示す。1 番から 4 番までのチャンクのスケジューリングを行ったとき、P2 は携帯電話回線帯域が低いために自身の回線で受信できるチャンク数が少ない。そのため、1 つしかチャンクを Offer できていない。ここで、P1 は式 (4) を用いてチャンク選択確率 P を再計算し、次に 5 番から 8 番までのチャンクのスケジューリングを行う際には、自身の携帯電話回線で取得するチャンク数を増やすことで T.O. チャンクの発生を防いでいる。このようにして、CSANR では隣人ピアの携帯電話回線帯域の変化による影響を軽減することができる。

4. シミュレーション評価

提案手法を評価するために、シミュレーションを行った。その評価結果についての考察を述べる。

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。全てのピアが互いに直接通信可能な距離に存在する環境を想定する。全てのピアが最初に隣人関係を一齐に設立し、配信者は実験開始後すぐにピアへ動画コンテンツの配信を開始するものとする。また、配信者から送信された全チャンクがプレイアウト遅延を過ぎた時点で実験終了とする。

ピア 1 のみの携帯電話回線帯域が変動するシナリオを考える。他のピアの携帯電話回線帯域はビデオレートと

パラメータ	値
使用シミュレータ	QualNet5.0.2
同時視聴ピア数	2 - 7
対象動画数	1 個
無線通信規格	IEEE802.11b
シミュレーション・エリア	100m × 100m
チャUNKサイズ	100kbit
チャUNK数	54000 個
プレイアウト遅延	5sec
ビデオレート	1.0Mbps
動画の長さ	90min
メッセージ送信間隔	1sec
シミュレーション回数	10 回

比較して十分に大きい値であり、携帯電話回線におけるパケットロスが発生しないものとした。すなわち、自身の携帯電話回線で要求したチャUNKは 100% 受信できる。ピア 1 は 10 分経過する毎に携帯電話回線帯域が 1Mbps から 200kbps ずつ低下していき、40 分が経過すると携帯電話回線帯域は 200kbps にまで低下する。そして、60 分経過後からピア 1 の携帯電話回線帯域は 10 分経過毎に 200kbps ずつ大きくなっていく。

以上の条件でシミュレーションを 10 回繰り返して、その平均値を算出した。

4.2 動的なチャUNK選択確率決定による効果

図 4 に、既存手法と提案手法のチャUNK選択確率決定アルゴリズムにおいて、T.O. チャUNK発生率を測定した結果を示す。総チャUNK数に占める T.O. チャUNK数の割合を T.O. チャUNK発生率と定義する。また、携帯電話回線トラフィック量は、T.O. チャUNK発生に伴って生じるトラフィックをビデオサイズで正規化したものである。既存手法においては、隣人ピア数に基づいてスケジューリングを行っており、隣人ピアの携帯電話回線帯域変化を考慮していない。そのためピア 1 の携帯電話回線帯域が低下することによって Offer できるチャUNK数が減少することにより、

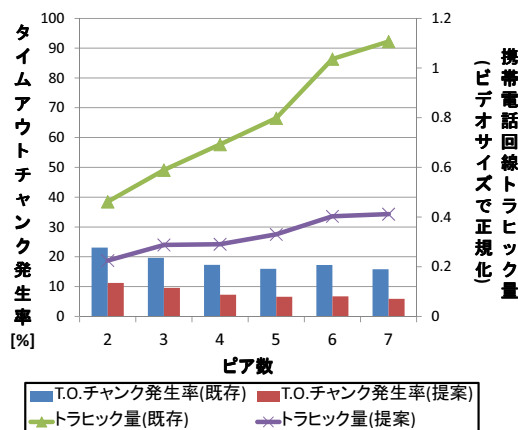


図 4 T.O. チャUNK発生率

T.O. チャUNK数が増加する。携帯電話回線帯域に余裕のあるピアは、再生遅延の発生を防ぐために T.O. チャUNKを全て自身の携帯電話回線で取得する。そのため、本来は単一のピアのみが携帯電話回線で取得すれば全てのピアが受信できるが、このような状況においては全てのピアが自身の携帯電話回線で取得するため、携帯電話回線におけるトラフィックが増加する。また、携帯電話回線帯域の低いピアは自身の携帯電話回線を用いて T.O. チャUNKを取得することができないため、T.O. チャUNK数の増加がそのまま受信チャUNK数の低下に繋がる。

提案手法においては、隣人ピアの携帯電話回線帯域が低下した場合には、自身の携帯電話回線で取得するチャUNK数を増やす。そのため、ピアの携帯電話回線帯域低下によって発生する T.O. チャUNKの増加を防ぐことができる。図 4 によると、既存手法と比較して T.O. チャUNK発生率を 10% 削減できていることがわかる。そして、提案手法においてはピア数増加に伴う携帯電話回線トラフィックの増加を最大 60% 抑制できている。この改善率はピア 1 の携帯電話回線帯域の低下の度合いに依存するため、ピア 1 の携帯電話回線帯域が常に低いような条件下では、提案手法による既存手法に対する改善率はより大きなものになると考えられる。

4.3 隣人ピアの携帯電話回線帯域変化による影響

続いて提案手法により、各ピアが自身の携帯電話回線で取得するチャUNK数が、隣人ピアの受信状況に応じて適応的に変化していることを確認する。ピア数は 2 とし、ピア

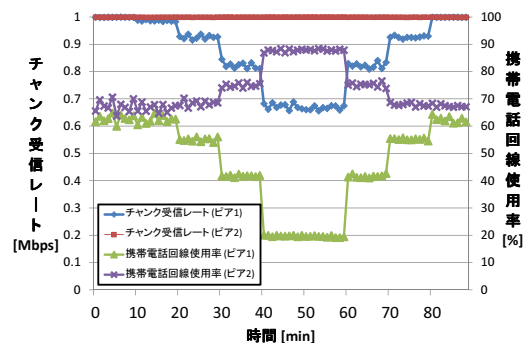


図 5 ピアの携帯電話回線帯域変化による影響 (既存)

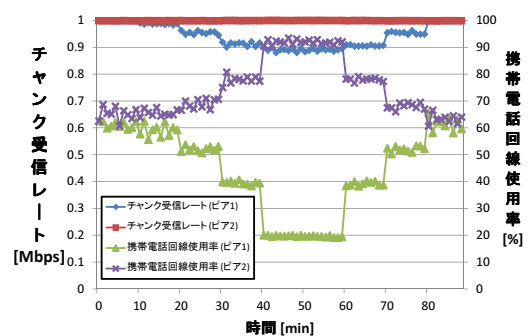


図 6 ピアの携帯電話回線帯域変化による影響 (提案)

1 のみの携帯電話回線帯域が変化する条件下でシミュレーションを行った。図5と図6は、既存手法と提案手法における各ピアのチャック受信率、及び携帯電話回線使用率の時間変化を表している。チャック受信率はある時間に配信されたチャックの内、受信できたチャック数の割合である。また、携帯電話回線使用率は携帯電話回線で取得したチャックのデータ量がビデオレートに占める割合である。

各ピアが隣人数に基づいてスケジューリングを行う既存手法の場合、ピア1の携帯電話回線帯域の低下によってT.O.チャックが増加し、低帯域のピア1のチャック受信率が大幅に低下していることが図5によりわかる。一方、図6によると提案手法では、ピア1の帯域変化に応じてピア2が適応的に自身の携帯電話回線で取得するチャック数を変化させていることがわかる。その結果、携帯電話回線帯域が低下したピア1に対してピア2がより多くのチャックを送信することにより、ピア1のチャック受信率を90%以上で維持できている。

5. 結論

モバイル端末の携帯電話回線帯域と端末間のアドホック通信帯域を並行して利用する配信方式として、Cellular-WiFi hybrid networkがある。Cellular-WiFi hybrid networkを用いた端末間協調ライブストリーミングにおいては、各ピアが自身の携帯電話回線で取得するチャック確率的に決定する。しかし、各ピアが自身の携帯電話回線を用いて取得するチャック数は、隣人ピアの数や携帯電話回線帯域の大きさに応じて適切に決定されなければならない。

そこで本稿では、隣人ピアの受信状況を考慮することで、自身の携帯電話回線での取得チャック数を適応的に変化させる手法CSANRを提案した。CSANRでは、事前にMANET上における隣人間通信によって自身が携帯電話回線で取得するチャック番号を通知し合い、隣人ピアが受信予定であるチャックを把握する。そして、隣人ピアの携帯電話回線帯域の変化に応じて自身が携帯電話回線を用いて取得するチャック数を変化させる。CSANRを用いることで、ピアの携帯電話回線帯域が大きく変化する状況下においても、それぞれのピアは適切な確率で自身が取得するチャックを選択できるようになる。その結果、各ピアが自身の携帯電話回線を用いて取得するチャック数の過不足を抑制し、少ない携帯電話回線使用量で高いチャック受信率を得ることができる。

また、本提案手法を、シミュレーションによって評価した。その結果、本提案手法によってピアの帯域低下によって発生するT.O.チャックを10%削減することができた。そしてT.O.チャック数の削減により、ピア数増加に伴う携帯電話回線トラフィックの増加を最大60%抑制した。また、ある隣人ピアの携帯電話回線帯域が低下した際にも、その変化に対して適応的に自身で取得するチャックの量を

変化させることで、隣人ピアのチャック受信率を約90%維持することができた。全ピアのチャック受信率を維持しながら携帯電話回線使用率の削減を実現できたことから、本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た。

参考文献

- [1] Selim Ickin, Katarzyna Wac, and Markus Fiedler. Demonstrating the stalling events with instantaneous total power consumption in smartphone-based live video streaming. In *the 2th IFIP Conference on Sustainable Internet and ICT for Sustainability (SustainIT 2012)*, pp. 1–4, October 2012.
- [2] Mobile YouTube. <http://m.youtube.com> (2013/1/16 現在).
- [3] E. Tan, L. Guo, S. Chen, and X. Zhang. Scap: Smart caching in wireless access points to improve p2p streaming. In *the 27th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS 2007)*, pp. 61–68, June 2007.
- [4] Shioh yang Wu, Jungchu Hsu, and Chieh-Ming Chen. Headlight prefetching and dynamic chaining for cooperative media streaming in mobile environments. *Mobile Computing, IEEE Transactions*, Vol. 8, pp. 173–187, February 2009.
- [5] H. Trivedi, P. Veeraraghavan, S. Loke, A. Desai, and J. Singh. Routing mechanisms and cross-layer design for vehicular ad hoc networks: A survey. In *the 2011 IEEE Symposium on Computers and Information (ISCI 2011)*, pp. 243–248, March 2011.
- [6] P. Khadivi, T.D. Todd, and Dongmei Zhao. Handoff trigger nodes for hybrid IEEE 802.11 wlan/cellular networks. In *the 2004th First International Conference on Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks (QSHINE 2004)*, pp. 164–170, October 2004.
- [7] Thava Iyer, Robert Hsieh, and Nikzad Babaii Rizvandi. Mobile p2p trusted on-demand video streaming. In *the IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN2011)*, October 2011.
- [8] H Hanano, Y Murata, N Shibata, K Yasumoto, and M Ito. Video ads dissemination through wifi-cellular hybrid networks. In *the IEEE Pervasive Computing and Communications (PerCom 2009)*, pp. 1–6, March 2009.
- [9] BitTorrent. <http://www.bittorrent.com/> (2013/1/16 現在).
- [10] Fortuna R. Leonardi E. Mellia M. Meo M. and S Traverso. Qoe in pull based p2p-tv systems: Overlay topology design tradeoffs. In *the 10th IEEE International Conference*, pp. 1–10, August 2010.