

放送通信融合環境における映像再生中断時間削減のための 通信帯域割当手法

松本哲^{†1} 義久智樹^{†1} 川上朋也^{†2, †1} 寺西裕一^{†3, †1}

概要：近年のワイヤレス放送技術の発達により，放送通信融合環境における映像データ配信システムが注目を集めている．放送通信融合環境における映像データ配信システムにおいて映像再生中断時間を削減するために，サーバが複数の放送チャンネルを介して幾つかの分割データ（ピース）を配信する手法が提案されている．これらの手法では，ピースの受信完了時刻を予測するために通信帯域割当を固定している．しかし，5G ネットワークの MBMS モードのように，近年の放送通信融合環境では，サーバは帯域割当を柔軟に変更できる．そこで，本研究では，放送通信融合環境に分割放送方式を適用する際に適切に通信帯域を割当て再生中断時間をより削減させる手法を提案する．提案手法では，サーバは，放送チャンネルを介した配信時間が通信チャンネルを介した配信時間よりも早い場合のみ，要求されたピースの映像をクライアントへ放送する．その際，サーバにて，中断時間を短縮するように帯域幅を調整して割り当てる．筆者らは，シミュレーション評価により，帯域幅を適切に割り当てることで最短の中断時間を達成することが明らかになった．

キーワード：映像配信システム，次世代セルラーネットワーク（5G），ストリーミング配信

1. はじめに

近年，ワイヤレス放送技術の発達により，放送通信融合環境でのストリーミング映像配信が注目されている．放送通信融合環境は，システムのクライアントが放送チャンネルと通信チャンネルの両方からデータを受信できることが先進的な点の 1 つである．5G ネットワークの MBMS (multimedia broadcast and multicast services)モード，及び WiFi ネットワークにおけるユニキャストおよびブロードキャストアドレスを使用することで，放送通信融合環境を提供できる．ストリーミングビデオ配信では，クライアントは，再生するまでビデオデータの一部（ピース）を受信できない場合，再生中断の状態になる．例えば，ビデオ配信サービスのユーザが，スマートフォンでビデオを再生する時，スマートフォンが最初のビデオデータピースの受信を終了すると，スマートフォンは次のピース（映像の分割データ）の受信を維持しながらビデオの再生を開始する．この時，ビデオの再生中にスマートフォンがまだ受信していないビデオデータピースの時間位置に達した場合，再生は中断する．長い中断時間はユーザを煩わす為，ストリーミングビデオ配信サービスにはより短い中断時間が必須となる．これらのことから，放送通信融合環境におけるストリーミングビデオ配信の中断時間の短縮が，ビデオ配信研究分野において，注目される課題の 1 つとなっている．

中断時間を短縮するために，様々な映像データ配信方法が提案されている ([1-9])．ほとんどの方法では，放送チャンネルのための分割放送技術を採用している．この技術では，ビデオデータがいくつかの部分に分割され，サーバは，より多くのクライアントに保持されていない部分を放送す

る．クライアントに保持されているビデオデータ部分の再生を開始する前に，各クライアントが受信できる可能性が高くなるため，中断時間が短縮できる．通信チャンネルを介する場合，クライアントは，放送チャンネルを介した受信より早く受信できる部分を要求し，それらを受信する．従来の方法では，放送チャンネルと通信チャンネルの帯域幅の割り当てが固定であると仮定しているため，クライアントは受信データのピースがいつ再生終了されるかを予測できる．

しかし，ほとんどの放送通信融合環境でのシステムでは，帯域幅割り当てを柔軟に変更できる．例えば，5G ネットワークの MBMS モードでは，総帯域幅は固定であるが，制御システムにて，放送チャンネルおよび通信チャンネルの帯域幅を制御できる．放送通信融合環境で柔軟な帯域幅割り当てを行うシステムでは，帯域幅を適切に割り当てることによって中断時間をさらに短縮できる．クライアント数が多い場合には，全てのクライアントが放送を受信できるため，放送帯域幅が大きいほど中断時間を短縮する可能性が高くなる．それ以外の場合，クライアントが要求された部分を早期に受け取ることができるため，通信帯域幅が大きいほど中断時間を短縮する可能性が高くなる．

本論文では，放送通信融合環境における柔軟な帯域割当のための映像データ配信方法を提案する．提案する方法では，各クライアントにて，保持していない部分の映像データの中で最も再生が早く開始される時間の部分データを，最も早期にクライアントより伝送要求する．放送サーバは，放送チャンネルを介した配信時間が通信チャンネルを介した配信時間よりも早いと予測される場合のみ，要求されたピースを放送する．それ以外の場合，サーバは通信チャンネルを介して要求された部分をクライアントの要求に返し，

^{†1} 大阪大学

Osaka University.

^{†2} 奈良先端大学院大学

Nara Institute of Science and Technology

^{†3} 情報通信研究機構

National Institute of Information and Communications Technology

伝送する。サーバは、中断時間をさらに短縮するように帯域幅を割り当てる。提案手法では上記のようにして、従来の手法に比べ帯域幅を適切に配分することで最短の中断時間を実現する。

本論文は次のように構成される。第2章で関連研究について述べる。第3章と第4章で仮定した放送通信融合環境と提案されたシステムについて説明する。著者らの実験結果を第5章で提示し、第6章にてまとめを述べる。

2. 関連研究

映像配信の中断時間を短縮するための様々な方法が提案されている。[10]では、ピアツーピア (P2P) 通信を用いて中断時間を短縮する方法を提案している。P2P 通信では、クライアントはサーバおよび他のクライアントと通信する。受信した部分の情報を他のクライアントと交換することにより、サーバの通信負荷が軽減され、中断時間が短縮される。受信した部分を持っていないクライアントを早期に見つけるために、受信した部分の情報を交換する方法が[11]で提案されている。しかしながら、これらの方法は放送通信融合環境をターゲットとしていない。放送通信融合環境では、放送チャンネルからも配信することにより中断時間がさらに短縮される。

次世代セルラーネットワーク (5G) の魅力的な特徴の1つとして、MBMS モードがある。MBMS モードでは、サーバはいくつかのクライアントに同時にデータを送信できる。近年、ストリーミングビデオ配信分野では、マルチキャストを利用した通信伝送量を低減する手法が提案されている([1-3])。しかしながら、これらの方法は、放送チャンネル及び通信チャンネルのための帯域幅の割り当てが固定されていると仮定している。また、様々なビデオ放送方式が提案されている([4-9])。これらの方法では、サーバは、放送チャンネルを介してすべての部分をブロードキャストするが、クライアントは、通信チャンネルを介していくつかの部分を受信できる。そこで、著者らの以前の研究[7]では、放送通信融合環境のためのデータ除去技術を提案した。しかし、これらはまた、固定帯域幅割り当てを前提としていた。

放送通信融合環境のためのいくつかのシステムが提案されている([12-14])、これらのシステムは、インターネットなどの通信チャンネルを介して、放送チャンネルおよび放送されたビデオに関する他のコンテンツを介してビデオデータを送信する。提案システムでは、これらのシステムとは異なり、放送チャンネルと通信チャンネルの両方を用いて映像データを送信する。放送通信融合環境に関する他の研究がある。放送通信融合環境上で 3D ビデオを配信するシステムが[15]で提案されている。CDN (P2P) と P2P (Peer-to-Peer) のハイブリッドシステムが[16]で提案されている。想定される放送通信融合環境は、サーバが帯域幅の割り当て

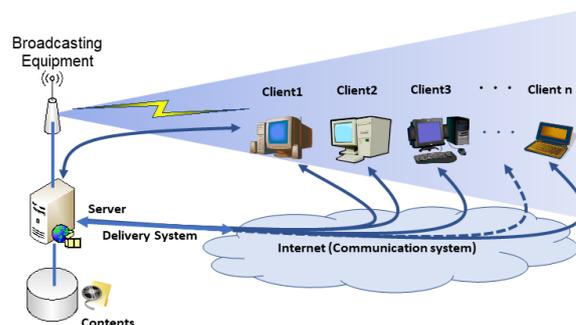


図1. 想定する放送通信融合環境の概念図

を柔軟に変更できる点で、これらのシステムとは著者らの提案と異なる。

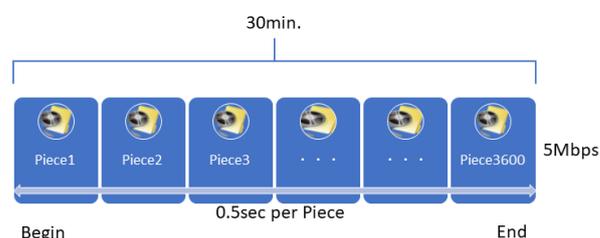


図2. ピース (映像の分割データ) の構成

3. 想定環境について

この章では、想定される放送通信融合環境について説明する。

3.1 放送通信融合環境

図1に、放送通信融合環境における想定されるシステムアーキテクチャのイメージを示す。放送通信融合環境は、放送チャンネルと通信チャンネルの2つのデータ伝送チャンネルを有する。スマートフォンやラップトップなどのクライアントは、両方のチャンネルからデータを受信できる。サーバ側にはビデオデータがあり、放送チャンネルを介してすべてのクライアントにデータを放送でき、通信チャンネルを介した要求に基づいて各クライアントに映像データを送信できる。サーバは、基地局を使用してデータを送信する。基地局の総帯域幅は固定されているが、システムは、放送チャンネルおよび通信チャンネルの帯域幅の割り当てを制御できる。

放送通信融合環境の実用的な例としては、5G ネットワークの MBMS モードがある。5G の場合、放送チャンネルは、サーバとクライアントとの間の通信チャンネルとして MBMS モードで提供される。通信チャンネルは、通常時は通信チャンネルとして用いられる。システムは、総帯域幅が固定であるという条件下で、MBMS モードおよび通常モードのための帯域幅の割り当てを柔軟に制御できる。

3.2 映像配信

ビデオ用のデータは、MPEG (Moving Picture Experts Group)

の GoP (Group of Pictures) のようないくつかの部分に分割される。図 2 は、仮定したビデオデータのデータ構造を示す。GoP の一般的なデータ量については、0.5 秒間でのビデオのデータ量を指標とする。例えば、30 分間のビデオが MPEG によって符号化され、ビットレートがテレビサービスの一般的なビデオビットレートである 5Mbps であると仮定する。その時のビデオのデータ量が 1.125G バイトであれば、各映像データのピースのデータ量は 312.5K バイトとする。

ユーザが、任意のタイミングで映像を再生するためにクライアントを操作し、クライアントは、再生を開始するとスキップすることなくビデオを最後まで再生するとする。クライアントがその部分の映像を再生するタイミングになっても、ピースを保持していない場合、映像中断に遭遇し、ピースの受信を待つことになる。

4. 提案手法

この章では、提案システムについて説明する。著者らは提案方式を、Request-based Division Broadcasting (RDB) 方式と呼ぶ。RDB 方式では、サーバは、放送チャンネルを介した送信時刻が通信チャンネルを介した送信時刻よりも早いと予測される場合のみ、要求されたピースを放送する。詳細は次に示す。

4.1 通信チャンネルを介したデータ伝送

クライアントでは、その部分を再生するタイミングが来てもピースを持っていないときに中断に遭遇する。クライアントは、最初から最後までビデオデータをスキップせずに再生するとする。それに従えば、中断に遭遇する確率は、各クライアントが持っていない全てのピースで最も早いタイミングで再生を開始するピースを受信することによって、より低減できる。さらに、複数の（並列の）ピース受容部を用いれば、同時に各ピースデータの受容を終わらせる。

これらのことから、RDB 方法では、クライアントは、各クライアントが持っていないすべてのピースデータのうち最も早く再生を開始するピース部分の伝送を要求する。これらは要求されたピース部分の受信を終えると、次のピース部分を要求する。また、サーバは、各ピースの送信を早期に終了するために、要求されたピースを各クライアントに 1 つずつ返送する。

4.2 放送チャンネルを介したデータ伝送

従来の方法の中には、静的放送を採用しているものもある。すなわち、サーバは、放送スケジュールを予め作成しておき、スケジュール順に放送する。しかしながら、放送通信融合環境では、サーバはクライアントと通信することができ、クライアントが持っていないピース部分を考慮して放送できる。クライアントが通信チャンネルを介してクライアントに受信する前にサーバがピースを放送する場合、早期にピースを受信できる。さらに、すべてのクライアン

表 1. シミュレーション パラメータ

項目	値
ビットレート	5 Mbps
映像時間	30 [min.]
ピースサイズ	0.5[sec.]
シミュレーション時刻	5 [hours]

トは放送されたピース部分を受信できる。

これらのことから、RDB 方式では、サーバは、放送チャンネルを介した送信時刻が通信チャンネルを介した送信時刻より早いと予測される場合のみ、要求されたピースを放送する。サーバは、通信チャンネルの戦略と同じように、要求されたピース部分を 1 つずつ放送して、送信を早く終了させる。その際に、サーバは、放送されたチャンネルを介して、要求された各部分の送信をいつ終了するかを予測できる。要求された各ピースについて通信チャンネルを介して送信する時間を予測するために、サーバは、要求されたクライアントとの間の平均通信速度を使用して予測時間を計算する。

5. 評価

この章では、RDB メソッドを評価するための実験結果を示す。

5.1 実験環境の設置について

放送通信融合環境でのビデオ配信時の再生中断をシミュレートし、RDB 方式などの従来の方法を複数比較する。中断時間と中断回数を測定する。ここで、中断時間とは、各クライアントにおいて映像の再生中断時間の総和を意味する。

表 1 に実験パラメータを示す。これらの値は、5G ネットワークの MBMS モードにおける放送通信融合環境を想定して設定した。ユーザは、3.2 節で説明したように、ユーザがクライアントを操作してビデオを任意のタイミングで再生するので、ポアソン分布によってクライアント上でビデオを再生する時間が与えられる。ビデオの再生を開始するタイミングの平均到着率を変更してシミュレーションを実行する。映像データが MPEG2 で符号化されたドラマのデータであると仮定すると、映像時間は 30 分であり、ビットレートは 5Mbps である。各ピースの持続時間は 0.5 秒とする。サーバとクライアントの間に 1 つのボトルネックリンクが存在すると仮定して、通信帯域幅をクライアント間で共有するように設定した。シミュレーション開始から 5 時間後に中断時間が十分に収束するので、シミュレーション時間は 5 時間となる。

RDB 法と [8] で提案した DBSC-SM 法とカルーセル法を比較する。DBSC-SM 方式では、サーバ (R) と通信するクライアントの数が R_{th} を超えている間に、サーバは要求さ

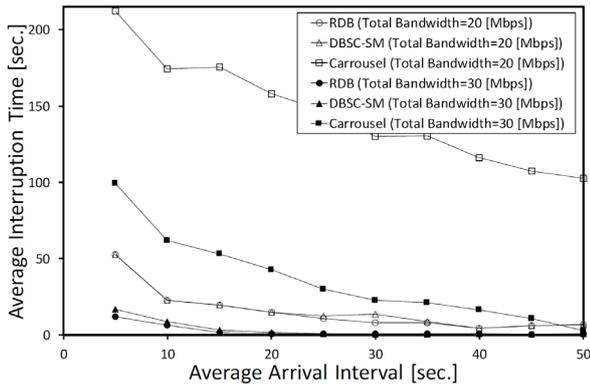


図3. 平均到達時間と平均中断時間

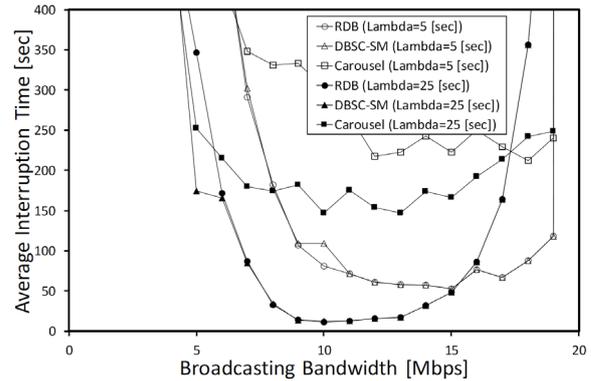


図4. 平均中断時間と放送帯域幅

れた部分から順に放送する。Rth を 0 に設定する。これは、クライアントがピースを要求すると、サーバが最後までピースを放送することを意味する。カルーセル方式では、クライアントがビデオの再生を開始すると、サーバは最初から最後まで巡回的にピースを放送する。

5.2 平均到達間隔について

各方法の最短平均中断時間を与え、最短値をプロットする帯域幅割り当てを見つけた。適切な帯域幅割り当てを見つける方法の詳細、次のセクション 5.3 に示す。総帯域幅は 20 Mbps または 30 Mbps である。その結果を図 3 に示す。横軸は、ビデオの再生を開始する時間の平均到達率であり、縦軸は平均中断時間である。

提案した RDB 法は、常に最短の平均中断時間を与えることがわかった。DBSC-SM メソッドでは、平均中断時間を RDB メソッドの平均中断時間に近づける。これは、DBSC-SM 方式のサーバでは、要求されたピース部分のクライアントが RDB 方式で次のピース部分を連続して要求し、要求されたピース部分が放送されることが多いため、RDB 方式とほぼ同様のピース部分を放送するためである。これらのことから、DBSC-SM 方式の場合と同じことが多いため、サーバが以降のピース部分を放送する。クライアントが既に次のピースデータを受信している場合にのみ、DBSC-SM 方式と RDB 方式とで放送するピースが異なる。クライアントがピースをより早く受け取ることができるため、平均到着間隔または総帯域幅が増加すると、平均中断時間は減少する。例えば、平均到着間隔が 10 秒、総帯域幅が 30Mbps の場合、提案している RDB 方式の平均中断時間は 6.4 秒であり、RDB 方式と Carrousel 方式の平均中断時間は 8.8 秒と 61 秒となる。

5.3 帯域幅の割り当てについて

放送通信融合環境では、帯域割当は平均中断時間に影響を与える。放送帯域幅と通信帯域幅の合計帯域幅は固定となる。放送帯域幅が大きいほど通信帯域幅が小さくなり、放送通信融合環境では適切な帯域幅割り当てを見つけることが難しい。そこで本節では帯域割当の影響を調べて示す。

図 4 に、異なる放送帯域幅における平均中断時間の結果

を示す。総帯域幅は 20 Mbps である。ラムダは、クライアントの平均到着率を意味する。横軸は放送帯域幅、縦軸は平均中断時間である。平均中断時間は、放送帯域幅が小さい場合には減少する傾向があり、すべての方法について大きい場合に増加する傾向がある。放送帯域幅が 20Mbps である場合、クライアントがピースを要求することがなく、サーバがピースを送信しないので、平均中断時間は異なる。例えば、ラムダが 25 秒の場合で、放送帯域が 10Mbps の場合、全ての方法の平均中断時間が最も短くなる。ラムダが 5 秒の場合、RDB 方式または DBSC-SM 方式の平均中断時間は、放送帯域が 15Mbps である場合に最も短くなる。Carrousel 方式の場合は、放送帯域幅が 18 Mbps の場合が最短となる。方法や、平均到着間隔 (ラムダ)、総帯域幅などのいくつかの要因に依存するため、式で適切な放送帯域幅を見つけることは困難である。図 3 は、図 4 のように放送帯域幅を変更することによって与えられる最短値を示す。

5.4 放送帯域幅について

放送帯域幅の影響を調べるために、放送帯域幅を変更する中断をシミュレートする。結果を図 5 および図 6 に示す。通信帯域幅のラムダが 5 秒の場合、6Mbps となり、ラムダが 25 秒である場合には、9 Mbps となる。これらの値は、合計帯域幅が 20 Mbps の場合に最も短い平均中断時間を与える通信帯域幅となる。

図 5 では、シミュレーション結果が変動するため、通信帯域が増加しても平均割り込み時間が増加する場合がある。総帯域幅が増加するので、通信帯域幅が増加するにつれて平均中断時間が減少する傾向があるのは当然となる。図 6 に中断の回数を示す。総帯域幅が増加するので、通信帯域幅が増加するにつれて、中断回数は減少する傾向にある。通信帯域が小さい場合には中断回数が多いが、受信しても中断した場合には各部の再生開始時間を待つことで中断回数を減らせる。

5.5 通信帯域幅について

通信帯域幅の影響を調べるため、通信帯域幅を変更する中断をシミュレートする。結果を図 7 および図 8 に示す。ラムダが 5 [sec.] の場合の放送帯域幅は 14Mbps であり、25

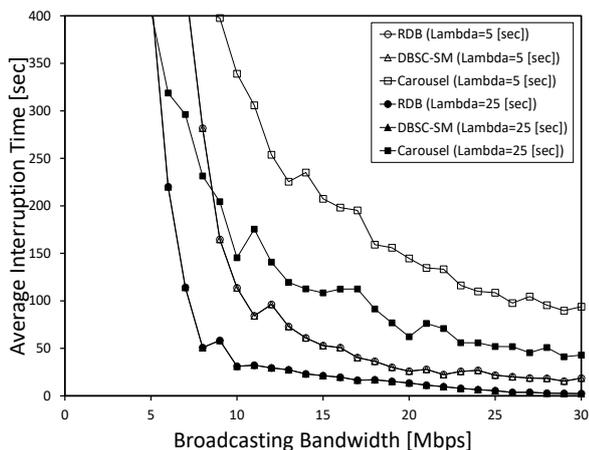


図 5. 平均中断時間と放送帯域幅

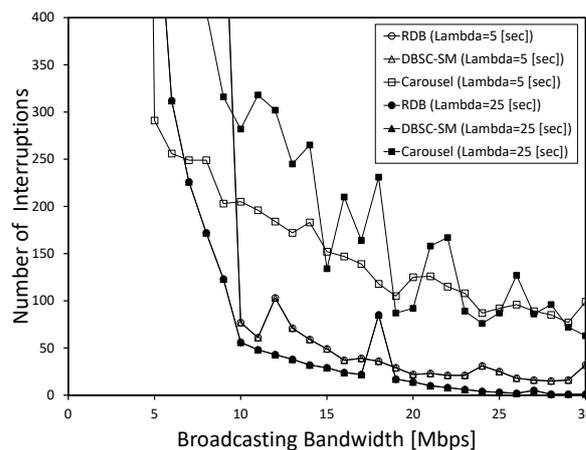


図 6. 中断回数と放送帯域幅

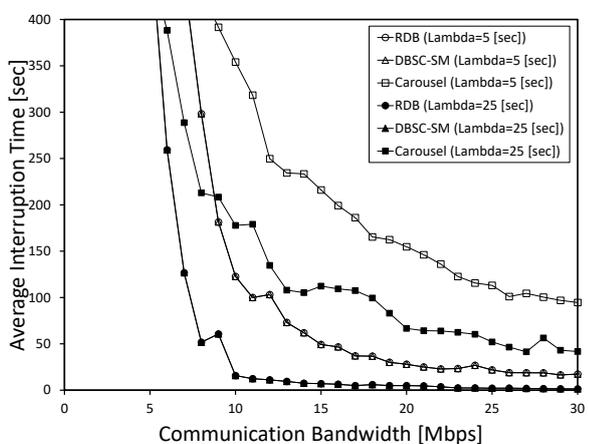


図 7. 平均中断時間と通信帯域幅

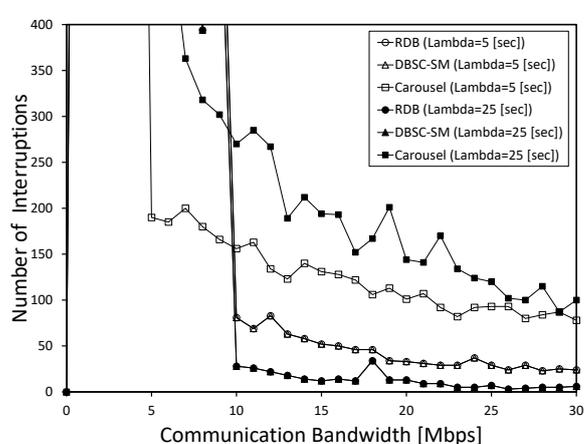


図 8. 中断回数と通信帯域幅

[sec.]の放送帯域幅の場合は 19Mbps である。これらの値は、総帯域幅が 20 Mbps の場合に最も短い平均中断時間を与える放送帯域幅となる。

これらの図に示すように、放送帯域を変更した場合と同様に、全体の帯域が増加するため、通信帯域が増加するにつれて平均中断時間と中断回数が減少する傾向にある。

6. まとめ

近年、放送通信融合環境でのストリーミング配信が注目されている。ビデオ配信研究分野の研究テーマの 1 つは、クライアントが放送チャンネルと通信チャンネルの両方からデータを受信できるという点で、放送通信融合環境の中断時間の短縮である。本論文では、柔軟な帯域割当のための映像データ配信手法を提案する。提案手法では、従来の手法とは異なり、サーバにより適切な帯域割当を行い、中断時間をさらに短縮させる。提案手法では、従来の手法に比べ帯域幅を適切に配分することで最短の中断時間を達成した。

謝辞 本論文の一部は科学研究費補助金（課題番号 JP17K00146, JP18K11316）、および、栢森情報科学振興財団の研究助成による成果である。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Araniti, G., Scopelliti, P., Muntean, G.-M., Lera, A.: A Hybrid Unicast-Multicast Network Selection for Video Deliveries in Dense Heterogeneous Network Environments, *IEEE Transactions on Broadcasting, Early Access* (2018), 11 pages.
- [2] Guo, J., Gong, X., Liang, J., Wang, W., Que, X.: An Optimized Hybrid Unicast/Multicast Adaptive Video Streaming Scheme Over MBMS-Enabled Wireless Networks, *IEEE Transactions on Broadcasting, Early Access* (2018), 12 pages.
- [3] Tian, C., Sun, J., Wu, W., Luo, Y.: Optimal Bandwidth Allocation for Hybrid Video-onDemand Streaming with a Distributed Max Flow Algorithm, *ACM Journal of Computer Networks, Vol. 91, Issue C* (2015), p. 483-494.
- [4] Fratini, R., Savi, M., Verticale, G., and Tornatore, M.: Using Replicated Video Servers for VoD Traffic Offloading in Integrated Metro/Access Networks, in *Proc. IEEE Int 'l Conf. on Communications (ICC)* (2014), p. 3438-3443.

- [5] Mattoussi, F., Zaharia, G., Crusiere, M., and Helard, J.-F.: Analytical Modeling of Losses in FDP Protocol of HbbTV Based Push-VOD Services over DVB Networks, in Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conf. (WCNC) (2017), p. 1-6
- [6] Gotoh, Y., Yoshihisa, T., Kanazawa, M., and Takahashi, Y.: A Broadcasting Protocol for Selective Contents Considering Available Bandwidth, IEEE Trans. on Broadcasting, Special Issue on IPTV, Vol. 55, Issue 2 (2009), p. 460-467.
- [7] Yoshihisa, T.: Data Piece Elimination Technique for Interruption Time Reduction on Hybrid Broadcasting Environments, in Proc. of IEEE Pacific Rim Conference Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM) (2017), 6 pages.
- [8] Yoshihisa, T.: Dynamic Data Delivery for Video Interruption Time Reduction in Hybrid Broadcasting Environments, in Proc. of International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS) (2014), p. 621-626.
- [9] Yoshihisa, T., Tsukamoto, M., and Nishio, S.: A Scheduling Scheme for Continuous Media Data Broadcasting with A Single Channel, IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 52, Issue 1.
- [10] Zhang, G., Liu, W., Hei, X., and Cheng, W.: Unreeling Xunlei Kankan: Understanding Hybrid CDN-P2P Video-on-Demand Streaming, IEEE Trans. on Multimedia, Vol. 17, Issue 2 (2015), p. 229-242.
- [11] Sheshjavani, A.G., Akbari, B., and Ghaeini, H.R.: An Adaptive Buffer-Map Exchange Mechanism for Pull-based Peer-to-Peer Video-on-Demand Streaming Systems, Springer Int'l Journal of Multimedia and Applications, Vol. 76, Issue 5 (2016), p. 7535-7561.
- [12] Boronat, F., Montagud, M., Marfil, D., Luzon, C.: Hybrid Broadcast/Broadband TV Services and Media Synchronization: Demands, Preferences and Expectations of Spanish Consumers, IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 64, Issue 1 (2018), p. 52-69
- [13] Boronat, F., Marfil, D., Montagud, M., Pastor, J.: HbbTV-Compliant Platform for Hybrid Media Delivery and Synchronization on Single- and Multi-Device Scenarios, IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 64, Issue 3 (2017), 6 pages
- [14] Christodoulou, L., Abdul-Hameed, O., Kondo, A.-M.: Toward an LTE Hybrid Unicast Broadcast Content Delivery Framework, IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 63, Issue 4 (2017), p. 656-672
- [15] Cruz, L.-A.S., Cordina, M., Debono, C.-J., Assuncao, P.-A.A.: Quality Monitor for 3-D Video Over Hybrid Broadcast Networks, IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 62, Issue 4 (2016), p. 785-799
- [16] Zhang, Y., Gao, C., Guo, Y., Bian, K., Jin, X., Yang, Z., Song, L., Cheng, J., Tuo, H., Li, X.M.: Proactive Video Push for Optimizing Bandwidth Consumption in Hybrid CDN-P2P VoD Systems, in Proc. INFOCOM (2018), 9 pages