

放送通信融合環境における 映像再生端末の受信状況を用いた放送データ決定手法

義久 智樹^{†1} 西尾 章治郎^{†1}

世界的な映像放送のデジタル化に伴い、放送通信融合環境に対する注目が高まっている。放送通信融合環境における映像配信では、放送されるまで時間がかかるデータを通信から受信することで、データを早く受信できて再生が中断されている時間を短くできる。しかし既存手法では、データのある程度受信した再生端末でも通信からデータを受信していたため、受信しているデータが少なく再生が中断されやすい再生端末が通信からデータを受信する時間が長くなって、平均再生中断時間が長くなっていった。そこで本研究では、再生端末が映像の初めの方のデータを再生している間だけ通信からデータを受信する放送データ決定手法を提案する。受信しているデータが少ない再生端末が初めの方のデータを早く受信でき、後ろの方のデータは放送から受信できるため、効率的に再生中断時間を短縮できる。

A Broadcast Data Determination Method using Data Reception of Video Players on Hybrid Broadcasting Environments

TOMOKI YOSHIHISA^{†1} and SHOJIRO NISHIO^{†1}

International digitalization of video broadcasting systems, hybrid broadcasting systems have attracted great attention. In video delivery on hybrid broadcasting systems, clients can faster receive the data, which are broadcast long afterward, using communication systems and the interruption time of playing the data are reduced. However, in conventional methods, the clients those have much data also receive data from communication systems. This lengthens the data reception time for the clients those do not have much data and their interruption times. In this paper, we propose a broadcast data determination method in that only the clients those play the former parts of the video receive the data from communication systems. Since clients those do not have much data can receive the former parts faster and the latter parts from the broadcast systems, their interruption times can be reduced effectively.

1. はじめに

世界的な映像放送のデジタル化に伴い、放送通信融合環境における映像ストリーミング配信に対する注目が高まっている。放送とは地上波デジタル放送や衛星放送といった電波放送を指す。放送を用いることで、映像データを配信するサーバはデータをすべての再生端末にまとめて配信できる^{1),2)}。すべての再生端末と通信してデータを配信する場合に比べて、配信するデータ量を削減できるが、あらかじめ決定された放送スケジュールに従ってデータが放送されることが多く、再生端末は再生に必要なデータが放送されるまで待たなければならない。また、通信とはインターネットや専用の情報通信ネットワークを指す。通信を用いることで、再生端末は必要なデータをサーバに要求して受信できるが、再生端末の数が増えるほど配信するデータ量が多くなる^{3),4)}。これらの放送と通信を融合させることで、互いの利点を活かした高品質なサービスを提供できる⁵⁾。

放送通信融合環境における映像ストリーミング配信では、一般に、映像データはブロックと呼ぶ幾つかの部分に分割される。ブロックは再生の単位であり、再生端末は各ブロックを受信するとそのブロックに含まれている映像データを再生できる⁶⁾。再生端末は、放送で順番に繰り返し配信されるブロックを受信すると同時に、通信でブロックを要求して受信できる。ブロックを受信しながら再生できるが、ブロックの再生開始時刻までにそのブロックを受信完了していなければ再生が中断される。放送されるまで時間がかかるブロックを通信で要求することで、ブロックを早く受信できて再生が中断されている時間を短くできる。

再生中断時間は、再生するブロックを受信完了していれば発生しないため、受信しているブロックが多い再生端末で発生しにくい。映像の後ろの方を再生している再生端末であれば、ブロックを受信している期間も長く、再生中断時間が長くなりにくい。しかし、既存手法では、ブロックのある程度受信した再生端末でも通信からデータを受信していたため、受信しているブロックが少なく再生が中断されやすい再生端末が通信からブロックを受信する時間が長くなって、平均再生中断時間が長くなっていった。

そこで本研究では、再生端末が映像の初めの方のブロックを再生している間だけ通信からブロックを受信する放送データ決定手法を提案する。受信しているブロックが少ない再生端

^{†1} 大阪大学
Osaka University

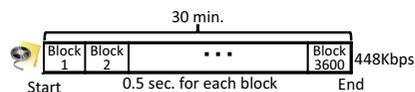


図 1 ブロックの例
Fig. 1 An example of blocks

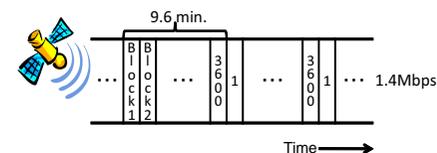


図 2 カルーセル放送
Fig. 2 carousel broadcasting

未が初めの方のブロックを早く受信でき、後ろの方のブロックは放送から受信できるため、効率的に再生中断時間を短縮できる。再生端末が通信からブロックを受信する期間が短すぎると、通信を有効に利用できず、再生中断時間が長くなる。また、この期間が長すぎても、他の再生端末の通信を妨げることになって再生中断時間が長くなる。このため、再生中断時間を効率的に短縮できる長さは、放送帯域や通信帯域といった環境に依存する。提案手法では、再生端末が通信からブロックを受信する期間をパラメタで与え、シミュレーションにより平均再生中断時間を評価する。

以降、2章で関連研究を説明し、3章で放送通信融合環境について説明する。4章で提案手法の説明、5章で評価を行い、最後に6章で本論文をまとめる。

2. 関連研究

放送通信融合環境では、再生中断時間を効率よく短縮できるように、映像を配信するサーバは放送するブロックを決定し、再生端末は通信で要求するブロックを決定する。例えば、図1では、MPEG4で符号化されたドラマを想定した30分の448kbpsの映像データをブロックに分割している。ブロックとしてGOP(Group of Pictures)を想定し、一般的なGOPの長さである0.5秒毎に3600個のブロックに分割している。放送通信融合環境において、これらのブロックを再生端末に配信する幾つかの手法が提案されている⁷⁾。

カルーセル放送と呼ばれる手法では、サーバはブロックを最初から最後まで順番に繰り返して放送する⁸⁾。図2では、図1に示した3600個のブロックを順番に繰り返して放送している。放送帯域は1.4Mbpsであり、30分の448Kbpsのデータを1.4Mbpsで放送するため、9.6分毎に繰り返して放送することになる。再生端末は、受信していない初めの方のブロックを通信で要求する。

放送通信融合環境においてカルーセル放送を用いた手法として、Super-Scaler VoD⁹⁾やNBB VoD(Neighbors-Buffering-Based)¹⁰⁾が提案されている。これらは通信から受信するブロックを決定する手法が異なる。Super-Scaler VoDでは、再生端末が通信でブロック

を要求してもすぐに配信せず、他の再生端末が同じブロックを要求するまである程度待ってから配信することで複数の再生端末の要求を同時に満たしている。NBB VoDでは、通信側で、再生端末間でもブロックを送受信するP2P(Peer-to-Peer)技術を用いている。しかし、ブロックをある程度受信した再生端末でも通信からデータを受信していたため、受信しているブロックが少なく再生が中断されやすい再生端末が通信からブロックを受信する時間が長くなって、平均再生中断時間が長くなっていった。また、カルーセル放送を用いているため、すべてのブロックを順番に放送しており、再生端末が要求していないブロックを放送していることがあった。

カルーセル放送ではなく、動的に放送するブロックを決定するDBSC(Dynamic Broadcast Schedule Creation)法¹¹⁾が提案されている。DBSC法では、サーバはブロックを放送する度に次に放送するブロックを決定する。ブロックの放送が終了すると、通信で要求されているブロックを参照し、通信からの配信に時間がかかるデータを放送している。しかし、再生端末の数が少ない場合、同じブロックを要求する再生端末が少なくなって、複数の要求をまとめて満たせる確率が少なくなり、再生中断時間を効率的に短縮できなかった。そこで、DBSC法を改良したDBSC-SMおよびDBSC-TSM(DBSC with Sequential Mode, DBSC with Total Sequential Mode)法¹²⁾が提案されている。これらの手法では、再生端末の数が少ない状況におけるDBSC法の性能を改善するため、再生端末の数が少なくなると、カルーセル放送のようにブロックを順番に放送している。しかし、上記と同じく、ブロックをある程度受信した再生端末でも通信からデータを受信していた。

本研究で提案する手法では、再生端末が映像の初めの方のブロックを再生している間だけ通信からブロックを受信する点が異なる。受信しているブロックが少ない再生端末が初めの方のブロックを早く受信でき、後ろの方のブロックは放送から受信できるため、効率的に再生中断時間を短縮できる。

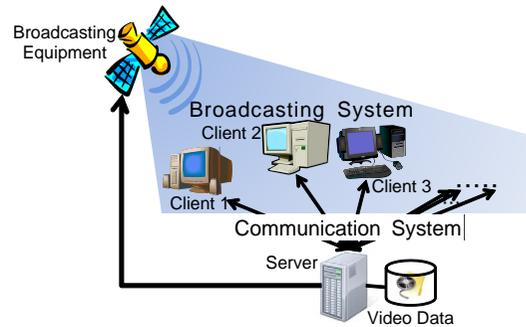


図 3 放送通信融合環境
Fig. 3 A hybrid broadcasting environment

3. 放送通信融合環境

本章では、放送通信融合環境におけるストリーミング配信について説明する。既存文献¹²⁾と同様の説明ではあるが、本論文の理解を助けるためここに再掲する。

3.1 システム構成

図 3 にシステム構成を示す。上部が放送システムを示しており、下部が通信システムを示している。ストリーミング配信のサービス提供者が映像データを所有しており、サーバに保存されている。サーバはインターネットのような通信ネットワークに接続されており、またインターネットや専用線を介して放送設備を利用できる。

再生端末は、映像を視聴するユーザが所有しており、インターネットを介してサーバと通信できる。また、放送されたデータを受信するためのチューナを備えており、放送からもデータを受信できる。十分な記憶領域をもっており、放送や通信を介して受信したデータを、映像を再生している間保存できる。

放送設備はサーバからの指示に基づき、電波放送を用いてデータを放送できる。放送されたデータは、すべての再生端末に同時に送信される。

このような放送通信融合環境における映像配信の例として、インターネットに繋がるテレビへの映像配信が挙げられる。テレビは基本的に電波放送を受信できる。近年のテレビにはインターネットに繋がるものも多く、現実的な想定といえる。他の例として、スマートフォンやパソコンへのストリーミング配信があげられる。ほとんどのスマートフォンはインター

ネットに繋がり、またテレビチューナを備えるものがある。パソコンにもテレビチューナを備えたものがある。

3.2 データ

データは、映像や音声といった時間的な繋がりに意味のある連続メディアデータを想定する。データは、ブロックと呼ばれる比較的小規模なデータに分割でき、再生端末は、ブロックごとに再生を開始できる。例えば、よく用いられている MPEG2 で符号化された映像データは幾つかの GOP で構成される。GOP には 0.5 秒のデータが含まれ、再生端末は各 GOP を受信完了すると再生できる。この場合、GOP がブロックに相当する。

一つの放送チャンネルで一つの映像データを配信するため、本論文では一つの映像データを配信する場合を想定している。しかし、他の放送チャンネルで他の映像データを配信できるため、提案手法は一つの映像データしか配信できないわけではない。

3.3 ビットレートより大きい放送帯域を用いることの妥当性

本研究では、映像のビットレートと等しい、もしくは大きい放送帯域を用いてブロックを放送すると想定している。これまでの放送では、ビットレートと放送帯域がほぼ等しいことがほとんどだったが、放送のデジタル化や、SSD (Solid State Drive) やハードディスクといった大容量の記憶装置をもつ再生端末の普及に伴い、ビットレートより大きい放送帯域を用いてブロックを放送し、これから再生するブロックを保存しておく視聴形態は今後一般的になると考えられる。また、我が国では一放送局に 13 個の放送セグメントを割り当てることが多く、すべてのセグメントを用いると 23Mbps 程度の放送帯域を使用できる。現状の映像品質で配信するとビットレートより大きい放送帯域で放送でき、現実的といえる。

4. 提案手法

本研究では、放送通信融合環境における映像配信において平均再生中断時間を短縮する手法を提案する。提案手法を Carousel-CLT (Carousel with Communication Limit Time Delivery) と呼び、本章で説明する。Carousel-CLT 法では、カルーセル放送を用い、再生端末がブロックの受信を開始してから初めの方のブロックを再生している期間だけ通信からブロックを受信する。この期間を CLT (Communication Limit Time) と呼ぶ。期間で制限を与えるのは、初めに受信するブロックの数で制限を与えると、ブロックの受信に時間がかかった場合に他の再生端末の受信に影響を及ぼすためである。例えば、図 4 において時刻 t にブロックの受信を開始した再生端末は、図に示す期間の間だけ通信からブロックを受信する。CLT の決め方については、4.3 節で説明する。放送通信融合環境において、再生

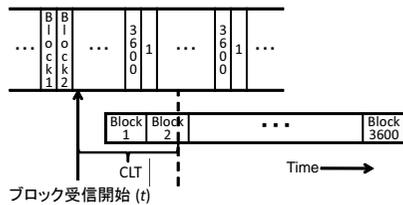


図 4 Carousel-CLT 法の例

Fig. 4 An example situation of the Carousel-CLT method

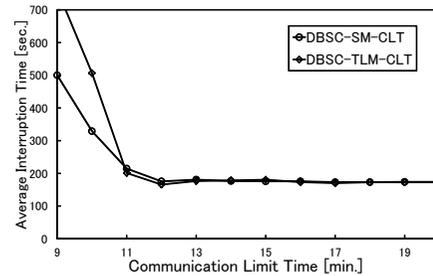


図 5 CLT 拡張の性能評価

Fig. 5 Performance evaluation of the CLT extension

端末がブロックの受信を開始してから CLT だけ経過する間のみ通信からブロックを受信する拡張を CLT 拡張と呼ぶ。

4.1 カルーセル放送を用いる理由

放送通信融合環境においてカルーセル放送を用いない手法として、DBSC-SM、DBSC-TSM 法が提案されている。これらに CLT 拡張を行って、再生端末に、初めの方のブロックを再生している期間だけ通信からブロックを受信させることができる。後に 5 章で詳しく評価するが、 CLT 拡張を行った際のシミュレーション結果の一例を図 5 に示す。DBSC-SM-CLT、DBSC-TSM-CLT それぞれが CLT 拡張を行った既存手法を示す。横軸が CLT 、縦軸が平均再生中断時間である。

放送帯域や通信帯域といった幾つかの環境パラメータを変化させてシミュレーションを行ったが CLT 拡張を行った既存手法が、行わない場合に比べて平均再生中断時間を短縮することはなかった。これらの手法では、多くの端末が通信から要求しているブロックを放送するというアイデアを用いているが、 CLT の制限により通信でブロックを要求しない再生端末が発生するため、このアイデアが有効に働かず、平均再生中断時間を効率的に短縮できていない。このため、本研究では、カルーセル放送に CLT 拡張を行って平均再生中断時間を短縮できる手法を提案する。

4.2 通信で要求するブロックの決定方法

ブロックは初めから最後まで順番に再生されるため、初めの方のブロックを早く受信することで再生中断時間を効率よく短縮できる。そこで Carousel-CLT 法では、各再生端末は未受信の最も初めの方のブロックを通信で要求する。要求していたブロックの受信を完了す

ると、次に再び未受信の最も初めの方のブロックを通信で要求する。

4.3 CLT の決め方

1 章で述べたように、 CLT が短すぎると、通信を有効に利用できず、再生中断時間が長くなる。また、長すぎても、他の再生端末の通信を妨げることによって再生中断時間が長くなる。このため、再生中断時間を効率的に短縮できる CLT は、放送帯域や通信帯域といった環境に依存する。提案手法では、再生端末が通信からブロックを受信する期間をパラメータで与え、シミュレーションにより平均再生中断時間を評価する。

5. 評価

本章では、提案手法の評価を行う。

5.1 評価環境

再生端末において映像の再生が中断されている時間である再生中断時間を計算機シミュレーションにより計測する。この再生中断時間には、映像の再生途中の中断時間だけでなく、初めに再生要求を出してから再生が開始されるまでの中断時間も含まれる。これまでの研究^{(11),(12)}において、再生中断時間はある程度の幅をもって収束することを確認しているため、収束時の平均再生中断時間を評価指標に用いる。

評価パラメータを表 1 に示す。放送は地上波デジタル放送の 1 セグメントを想定し、放送帯域を 1.4Mbps で与える。通信はインターネットを想定してそのポトルネックリンクを 5Mbps とする。映像データについて、インターネットでよく用いられている MPEG4 で符号化されたドラマを考え、ビットレートが 448Kbps の 30 分の映像データとする。ブロックは MPEG の GOP に基づき、0.5 秒のデータとする。再生要求の平均要求到着間隔は、他の再生要求の影響を受けないため、ポアソン分布で与える。再生中断時間が十分に収束されることが確認できた 6 時間分までシミュレーションを行った。

5.2 比較手法

提案手法の元となっているカルーセル法と比較する。カルーセル法では、再生端末が通信からブロックを受信する期間に制限を設けない。提案手法における CLT が無限大の場合に相当する。

5.3 平均要求到着間隔

映像を再生する再生端末の数は平均要求到着間隔に依存するため、平均要求到着間隔によって平均再生中断時間が変化する。そこで、平均要求到着間隔を変えてシミュレーションを行った。結果を図 6 に示す。縦軸は平均再生中断時間、横軸は平均要求到着間隔を示す。

表 1 評価パラメータ
 Table 1 Evaluation parameters

項目	値
放送帯域	1.4Mbps
通信帯域	5 Mbps
再生レート	448Kbps
映像の再生委時間	30 分
ブロックサイズ	0.5 秒
シミュレーション時間	6 時間

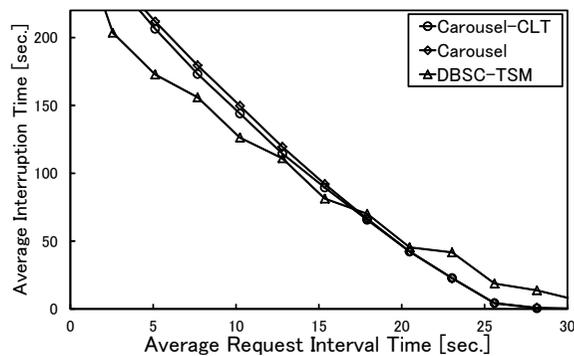


図 6 平均再生中断時間と平均要求到着間隔
 Fig.6 Average interruption time and average request interval

Carousel-CLT が提案手法, Carousel がカルーセル法である. Carousel-CLT 法では, 平均再生中断時間が最短になる CLT を与えた.

このグラフから, 平均要求到着間隔が長くなるほど, 平均再生中断時間が短くなるのが分かる. これは, 平均要求到着間隔が長ければ, 映像を再生中の再生端末の数が少なく, 通信からブロックを受信する再生端末の数も少なくなって, ブロックを早く受信できるためである. ブロックを早く受信できるため, 再生が中断されている時間が短くなる.

また, 平均要求到着間隔が短い場合には Carousel-CLT の平均再生中断時間が Carousel より短いことが分かる. これは, 平均要求到着間隔が短いほど, 映像を再生中の再生端末の数が多く, 多くのブロックを受信している再生端末が CLT の制限により通信からブロックを受信できなくなって, 受信しているブロックが少ない再生端末が初めの方のブロックを早く受信できるためである. 平均要求到着間隔が長くなると, CLT の制限を受ける再生端末

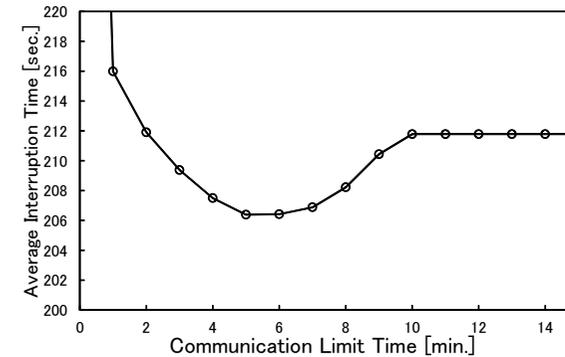


図 7 平均再生中断時間と CLT
 Fig.7 Average interruption time and CLT

の数が少なくなって, 提案手法の効果が少なくなり, Carousel と同じ平均再生中断時間になっている.

例えば, 平均要求到着間隔が 5.12 秒の場合, Carousel-CLT 法の平均再生中断時間は 184 秒, Carousel 法では 212 秒となり, 提案手法は 14%短縮できている.

5.4 CLT の影響

CLT の長さによって再生端末が通信からブロックを受信できる期間が変わって平均再生中断時間が変化する. そこで, CLT を変化させて平均再生中断時間を算出した. 結果を図 7 に示す. 平均要求到着間隔は 5.12 秒とした.

このグラフより, CLT が極端に短い場合には, 平均再生中断時間が長くなっていることが分かる. これは, 4.3 節で述べたように, CLT が短すぎるとすぐに通信からブロックを受信できなくなるためである. また, 極端に長すぎると平均再生中断時間が変わらなくなっていることが分かる. これは, 再生端末が再生に必要なブロックを放送から受信でき, 通信からブロックを受信する時間が CLT を越えなくなるためである.

平均要求到着間隔が短い場合には, CLT が長くなると, 多くのブロックを受信している再生端末も通信からブロックを受信するようになってしまい, 平均再生中断時間が長くなっている. このため, 平均要求到着間隔が短い場合には適切な CLT を設定することで, 提案手法は Carousel 法よりも平均再生中断時間を短縮できることが分かる.

6. ま と め

既存手法では、データがある程度受信した再生端末でも通信からデータを受信していたため、受信しているデータが少なく再生が中断されやすい再生端末が通信からデータを受信する時間が長くなって、平均再生中断時間が長くなっていった。そこで本研究では、再生端末が映像の初めの方のデータを再生している間だけ通信からデータを受信する Carousel-CLT 法を提案した。受信しているデータが少ない再生端末が初めの方のデータを早く受信でき、後ろの方のデータは放送から受信できるため、効率的に再生中断時間を短縮できる。評価の結果、DBSC 法よりも再生中断時間を短縮できることを確認した。

今後、サーバが複数の放送チャンネルを使って配信する場合や、複数のサーバが通信からブロックを配信できる場合に再生中断時間を短縮する手法を提案する。

謝 辞

本研究の一部は、科学研究費補助金（若手研究 A）「次世代オンデマンド型視聴形態のためのコンテンツ配信方式」（課題番号：23680007）および（挑戦的萌芽研究）「再生途切れない没入型コンテンツの放送型配信に関する研究」（課題番号：23650050）による成果である。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) J.B.Kwon: "Proxy-Assisted Scalable Periodic Broadcasting of Videos for Heterogeneous Clients," *Multimedia Tools and Applications*, Springer, Vol.51, No. 3, pp. 1105-1125 (2011).
- 2) C.K.Liaskos, S.G.Petridou, and G.I.Papadimitriou: "Cost-Aware Wireless Data Broadcasting," *IEEE Transactions on Broadcasting*, Vol. 56, Issue 1, pp. 66-76 (2010).
- 3) N. Magharei and R. Rejaie: "PRIME: Peer-to-Peer Receiver-driven Mesh-based Streaming," in *Proc.IEEE INFOCOM2007* (2007).
- 4) X.Zhang, J.Liu, and B.Li: "DONet/CoolStreaming: A Data-driven Overlay Network for Live Media Streaming," in *Proc.IEEE INFOCOM2005*, Vol.3, pp.2102-2111 (2005).
- 5) R. Asorey-Cacheda, N. Courville, F. J. Gonzalez-Castano, and H. Bischl: "A Survey and Perspective on NVoD Systems for Satellite Networks," in *Proc.IEEE Int'l Work.Satellite and Space Communications (IWSSC 2007)*, pp.230-233 (2007).
- 6) T.Yoshihisa, M.Tsukamoto, S.Nishio: "A Broadcasting Scheme Considering Units

- to Play Continuous Media Data," *IEEE Transactions on Broadcasting*, Vol.53, Issue 3, pp.628-636 (2007).
- 7) M.M.Hefeeda, B.K.Bhargava, and D.K.Y.Yau: "A Hybrid Architecture for Cost-effective On-demand Media Streaming," *ACM Computer Networks*, Vol.44, Issue 3, pp.353-382 (2004).
- 8) J.Y.B.Lee: "UVoD: An Unified Architecture for Video-on-Demand Services," *IEEE Communication Letters*, Vol. 3, No. 9, pp.277-279 (1999).
- 9) J.Y.B.Lee, and C.H.Lee: "Design, Performance Analysis, and Implementation of a Super-Scalar Video-on-Demand System," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.12, Issue 11, pp.983-997 (2002).
- 10) T.Taleb, N.Kato, and Y.Nemoto: "Neighbors-Buffering-Based Video-on-Demand Architecture," *Signal Processing: Image Communication*, Vol.18, Issue 7, pp.515-526 (2003).
- 11) 義久 智樹, 西尾 章治郎: "放送通信融合環境における映像再生端末数を考慮した放送スケジュール作成手法," *情報処理学会シンポジウムシリーズ マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2011) 論文集*, Vol. 2011, pp. 414-421 (2011).
- 12) 義久 智樹, 西尾 章治郎: "放送通信融合環境における映像データ受信待ち時間を考慮したストリーミング配信手法," *情報処理学会研究報告*, Vol. 2011-MBL-60, No. 11, 8 pages (2011).