

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 4 月 18 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23680007

研究課題名(和文)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

研究課題名(英文)Contents Delivery Methods for Next Generation On-Demand Watching Style

研究代表者

義久 智樹(Yoshihisa, Tomoki)

大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授

研究者番号：00402743

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 20,800,000円

研究成果の概要(和文)：見たいドラマの放送を月曜9時まで待つように、現状の電波放送では、再生端末が非常に多いため、視聴したいときに視聴したいコンテンツを視聴するオンデマンド配信ができない。本研究では、電波放送でオンデマンド配信を行う全く新しい視聴形態(次世代オンデマンド型視聴形態)を全体構想とし、「多数の再生端末へのオンデマンド配信」という誰もが不可能と考えていた非常に困難な問題に取り組んだ。この目的を達成するために、代表者がこれまで専門的に行ってきた再生中断時間短縮方式を進化させ、「分割放送」「端末伝送」「ピース除去」という独創的な技術を打ち出した。次世代オンデマンド型視聴形態に関する国際的に先駆的な研究である。

研究成果の概要(英文)：Current wave broadcasting cannot realize on-demand delivery, in which we can watch desirable contents whenever we want, since there are too many clients, e.g., one has to wait until 9 p.m. to watch one's preferable drama. In this research, we wholly design a novel watching style called a next generation on-demand watching style, which enables on-demand delivery by wave broadcasting and tackle the very hard problem that many researchers think it impossible, i.e., on-demand delivery for many clients. To achieve this goal, we evolve our sophisticated waiting time reduction methods and develop creative technologies called division-based broadcasting, peer-to-peer delivery, and piece elimination. This is a pioneer research for the next generation on-demand watching style.

研究分野：ストリーミング配信

キーワード：インターネット高度化 衛星通信・放送 情報システム ビデオオンデマンド ストリーミング

1. 研究開始当初の背景

YouTube や Google Video といったインターネット放送ではオンデマンド型の視聴が可能だが、再生端末が多い場合に再生中断時間が長くなる問題がある。再生中断時間とは、再生開始時刻までにデータの受信が間に合わず、再生が中断されている時間の合計を示す。例えば、人気のある動画の再生ボタンをクリックしても長時間再生が始まらないことがある。一方、テレビやラジオといった電波放送では多数の再生端末に同時にコンテンツ(映像や音声)を配信できるが、オンデマンド配信できない問題がある。電波放送(地上波デジタルテレビ)の再生端末数は少なくとも3,820万台あり、YouTubeの同時アクセス制限が9台であることを考えると、配信にかかる負荷が大きく、電波放送をインターネット放送に置き換えて多数の再生端末に対してオンデマンド型の視聴を実現することは非常に困難である。あらかじめ受信しておいて後で視聴することも、コンテンツ数が非常に多く莫大な容量の記憶装置が必要であり困難である。そこで本研究では、電波放送を用いて多数の再生端末に対してオンデマンド配信する次世代オンデマンド型視聴形態における、再生中断時間の短縮を目的とする(図1)。具体的な方法は3章に記述しており、提案手法を用いることで再生中断時間のないコンテンツ配信が可能になるという非常に大きなインパクトのある研究成果を期待できる。同様の目的をもつ研究がIEEE ICDE2007やIEEE ICDCS2008といった近年のトップレベルの国際会議で発表されており、本研究は学術的に見て我が国でも推進すべき重要な研究課題である。多数の再生端末に対してオンデマンド配信する点が非常に難しく、既存技術だけでは次世代オンデマンド型視聴形態を実現できなかった。本研究では、これらの技術に加えて、「分割放送」「端末伝送」「ピース除去」といった技術を打ち出し、次世代オンデマンド型視聴形態を実現する独創的なコンテンツ配信方式を提案する。

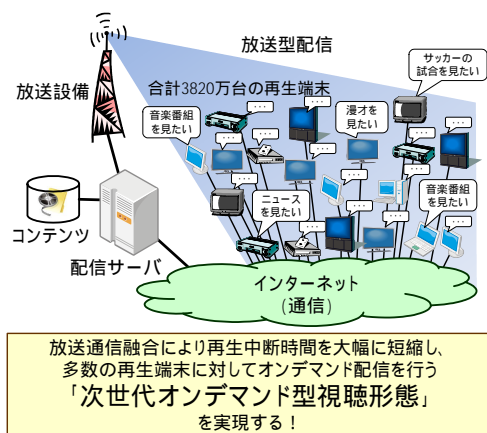


図1: 本研究の全体構想

2. 研究の目的

本研究では、電波放送とインターネット放送を組み合わせた放送通信融合環境を用いることで次世代オンデマンド型視聴形態における再生中断時間を短縮する。単に組み合わせるだけでは効率的に短縮できず、放送と通信両方の配信状況を考慮してコンテンツを配信しなければならない点が非常に難しく、これまでに誰もが可能とできていた。研究期間内に以下を明らかにする。

項目1: 放送側のコンテンツ配信戦略

放送側のコンテンツ配信戦略として、本研究では分割放送技術を用いる。分割放送では、コンテンツのデータを幾つかの部分に分割し、複数の放送チャンネルを用いて繰り返して放送する。分割したデータの放送スケジュールを適切に作成して放送することで、再生中断時間を短縮できる。しかし放送スケジュールと通信側のコンテンツ配信状況との連携が難しく、これまでに放送通信融合環境において再生中断時間を効率的に短縮できる放送スケジュールが研究されていなかった。そこで本項目では、放送通信融合環境において再生中断時間を短縮する放送スケジュールを明らかにする。

項目2: 通信側のコンテンツ配信戦略

通信側のコンテンツ配信戦略として、本研究では端末伝送技術を用いる。端末伝送では、既にコンテンツの再生を開始している他の再生端末からデータの一部を受信する。処理負荷の少ない再生端末から必要なデータを受信することで、再生中断時間を短縮できる。しかし放送側の分割放送を考慮していなかったため、これまでに放送通信融合環境において再生中断時間を効率的に短縮する通信方式が研究されていなかった。そこで本項目では、放送通信融合環境において再生中断時間を短縮する端末伝送手法を明らかにする。

項目3: 放送側と通信側のコンテンツ配信状況を考慮した戦略

両者の連携が難しく、これまでに放送通信融合環境において再生中断時間を効率的に短縮するコンテンツ配信方式が研究されていなかった。そこで本研究では、放送スケジュールを固定して端末伝送を行うという単なる組み合わせの技術ではなく、ピース除去という新しい技術を打ち出す。ピースとはコンテンツの再生単位であり、再生端末はピースごとにコンテンツを再生できる。通信側で受信できるピースの一部を放送スケジュールから除去することで再生中断時間をさらに短縮できる。しかし除去しすぎると再生中断時間が増加するため、本項目では、再生中断時間を効率的に短縮できるピースの除去方法を明らかにする。

3. 研究の方法

項目1に関して、具体的な研究手法は、分割放送技術を用い、通信側から受信したデータの再生終了までに続きのデータを配信する放送スケジュールを作成することである。

例えば、再生端末が 30 分のコンテンツの最初の 30 秒のデータを通信から 3 秒で受信完了できる場合を考える。再生端末は視聴要求を出してから 3 秒後という短い時間で再生を開始できる。視聴要求を出してから最初の 30 秒のデータを再生している 33 秒の間に続きのデータを放送から受信することで、再生端末は再生を中断することなくコンテンツを再生できる。しかし必ずしも通信から 3 秒で受信完了できるとは限らないため、通信側のコンテンツ配信状況を配信サーバが把握して放送スケジュールを決定する。

項目 2 では、端末伝送技術を用いる。N 個のピースがあり、0 分に視聴要求を出した端末 A は配信サーバの 1Mbps の帯域を用いて 1 分後に 1 個のピースを受信できる場合を考える。1 分後に端末 B が視聴要求を出すと、単純な方式では配信サーバの通信帯域が等分され、2 分後には端末 A は 1.5 個、端末 B は 0.5 個のピースしか受信できない。しかし端末伝送では、1 分後に視聴要求を出した端末 B が端末 A からピースを受信することで、2 分後には端末 A が 2 個、端末 B は 1 個のピースを受信できる。単純な方式に比べて早くピースを受信でき、再生中断時間の短縮につながる。このような端末伝送技術を用い、放送側の配信を待つと再生が中断されるピースに関しては通信で受信する手法を提案する。

項目 3 では、ピース除去技術を用いて再生中断時間を短縮する。図 2 の矢印の位置で視聴要求を出した再生端末を考える。同じ部分を繰り返して放送しているのは後で視聴要求を出した再生端末の再生中断時間を短くするためである。簡単のため、視聴要求と放送開始のタイミングが同じ場合を描いている。再生端末が通信から S_1 を受信完了すると、通信から後の部分 (S_3) を受信すると同時に S_1 の再生を開始する。 S_1 の再生終了と同時に S_2 の受信を完了できるように放送スケジュールを作成することで、再生を中断することなく S_2 の再生を開始できる。同様に S_2 の再生終了までに通信から S_3 を受信する。通信から受信できる S_1 と S_3 を放送スケジュールから除去できるため、放送側で配信するピースの放送周期を短くでき、再生中断時間を短縮できる。しかしコンテンツどの部分をどれほど除去すれば効率的に再生中断時間を短縮できるか不明なため、本研究で明らかにする。

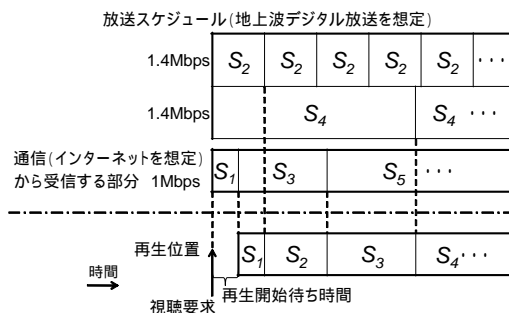


図 2: ピース除去の例

4. 研究成果

(1) データ受信時間を考慮した手法

概要

これまでの手法では、放送するデータを決定する際、再生端末がデータを受信完了するまでの時間を考慮していなかった。再生端末の数が多の場合、再生端末が通信から受信しているデータの中で、受信完了まで時間がかかるデータを放送することで、再生中断時間を効率的に短縮できる。そこで、本研究ではデータ受信時間を考慮した放送スケジュール作成手法 DBSC (Dynamic Broadcast Schedule Creation) を提案する。

提案手法

まず、通信側の受信手法を説明する。データは前の方から順番に再生されるため、前の方のブロックを早く受信することが再生中断時間の短縮につながる。そこで DBSC 法では、再生端末は、自身が持っていない最も前の方のブロックをサーバに要求する。要求したブロックの受信を完了すると、再び自身が持っていない最も前の方のブロックをサーバに要求し、通信側からの受信を継続する。

次に、放送側の放送スケジュール作成手法を説明する。サーバは、1 個のブロックの放送を終了するたびに、次に放送するブロックを決定する。ランダムに放送するブロックを決定しても、放送したブロックをすべての再生端末がすでに持っており、放送しても再生中断時間の短縮につながらない場合がある。そこで DBSC 法では、通信側で要求されているブロックを放送することで、放送したブロックを持たない再生端末が少なくとも 1 台はいるブロックを放送する。評価により、通信側で要求されているブロックを放送することで、データを受信している再生端末の数が多の場合に、周期的にブロックを放送する手法よりも再生中断時間を短縮できることを確認している。さらに、放送で配信することで、通信よりも早く放送から受信できる確率を高めるために、サーバが通信から送信しているブロックを確認し、送信完了までの合計時間が最も長いブロックを放送する。

サーバが N 個の再生端末 C_i ($i=1, \dots, N$) にブロックを送信しているとする。 C_i が受信しているブロックを B_i 、その送信完了までの時間を T_i で示す。ブロック j を受信している再生端末の識別子の集合を $D_j=\{i|B_i=j\}$ で表す。このとき

$$A_j = \sum_{k \in D_j} T_k \quad (1)$$

を最大にするブロック j を放送する。複数の再生端末に同時に送信している場合には、 T_i はこれまでの送信にかかった時間から予測できる。たとえば、ブロックのデータサイズを B とし、そのうち aB ($0 < a < 1$) の送信に U かかったとすると、残りの $(1-a)B$ の送信には $(1-a)U/a$ かかると予想され、 $T_i=(1-a)U/a$ となる。複数の再生端末に同時に送信して

らず、順番に送信している場合には、サーバの通信帯域 S と送信を待っている数 W を用いて $T_i = BW/S$ で与えられることになる。

評価

再生端末の再生中断時間をシミュレートし、映像の再生を終了した再生端末の再生中断時間を用いて評価する。はじめに述べた通り、再生中断時間とは、再生端末が視聴要求を出してから発生する、映像の再生が中断されている時間の合計を意味し、最初に映像が再生されるまでの待ち時間も含まれる。放送に地上波デジタル放送、通信にインターネットを用いた放送通信融合環境を想定して評価を行った。

再生端末の到着間隔が変化すると、データを受信する単位時間あたりの再生端末の数が増加して再生中断時間に影響を及ぼす。そこで、再生端末の平均到着間隔を変化させて評価を行った。平均値を図3に示す。縦軸が平均再生中断時間、横軸が再生端末の平均到着間隔を示す。

このグラフより、平均到着間隔が10秒未満の場合には提案するDBSC法が平均再生中断時間を最短にしていることが分かる。これは、平均到着間隔が短く、映像を再生している再生端末の数が多い場合には、通信からブロックを受信している再生端末の数も多くなるためである。通信側が混み合うことになるため、サーバが通信から送信しているブロックの中で、送信完了まで時間がかかるブロックを放送しているDBSC法が効率的に再生中断時間を削減でき、ストリームマージ法やカルーセル法よりも平均再生中断時間を短縮できる。

(2) 映像再生端末数を考慮した手法

概要

これまでの手法では、再生端末の数が多い場合、同じデータを要求する再生端末の数が少なくなると、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。そこで本研究では、再生端末の数が多くなると、映像データを順番に放送するストリーミング配信手法DTSM (DBSC with Totally Sequential Mode) を提案する。

提案手法

DTSM法では、再生端末の数が多くなると、

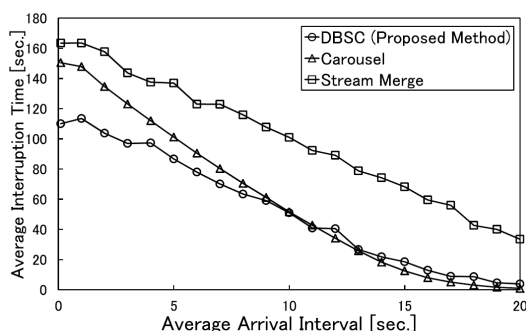


図3: DBSC法の平均再生中断時間

カルーセル法のようにブロックを順番に放送する。また、ブロックを順番に放送している期間が異なるDSM (DBSC with Sequential Mode) 法の説明もここで行う。DSM法は提案手法の亜流であり、DTSM法とシーケンシャルモードの期間が異なる直感的な手法である。

DTSM法の基本的な部分はDBSC法と同じであるため、ここでは特に異なる点のみ説明する。DTSM法では、再生端末が通信よりも放送からの方が早くブロック受信できる確率を高めるために、サーバは、要求されているブロックを通信で配信する場合に必要な時間を予測する。同じブロックの要求に対して配信に必要な予測時間を合計し、最大の合計値を与えるブロックを放送する。

映像を再生している再生端末はつねに通信からブロックを受信しているため、サーバはブロックを受信している再生端末の数を計測することで、再生端末の数を計測できる。再生端末の数を R とすると、 R が閾値 R_{th} より大きい場合、再生端末の数は多いと判断し、通常どおり式(1)で与えられるブロックを放送する。 R が R_{th} より小さい場合、再生端末の数が少ないと判断し、シーケンシャルモードに移行する。シーケンシャルモードでは、式(1)で与えられるブロック j を放送した後、次にそのブロックの次のブロック $j+1$ をと、順番に放送していく。各手法でシーケンシャルモードの期間が異なる。

- ・DTSM法: 1度 $R < R_{th}$ となると、最後のブロック N を放送するまでシーケンシャルモードで順番に放送する。

- ・DSM法: $R < R_{th}$ の間のみシーケンシャルモードとなり、順番に放送する。

シーケンシャルモードが終了すると、通常どおり式(1)で与えられるブロックを放送する。

評価

映像を再生してい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増える。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4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。

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ことが分かる。これは、平均要求到着間隔が長いほど映像を再生している再生端末の数が少なくなると通信から早くブロックを配信できるためである。早くブロックを配信できるため、再生開始時刻までにブロックを受信完了できている確率が高くなり、平均再生中断時間を短縮できる。また、平均要求到着間隔が25秒ほどより短い場合、カルーセル法に比べてDTSM、DSM、DBSC法の平均再生中断時間がほぼ等しく短いことが分かる。これは、後者3手法では、再生端末が通信で要求しているブロックを放送することで、通信

から配信するよりも早く配信でき、複数の再生端末に同時にブロックを配信しているためである。平均要求到着間隔が短く、シーケンシャルモードに移行することが少ないため、DTSM、DSM、DBSC 法の平均再生中断時間はほとんど変わらない。平均要求到着間隔が 25 秒ほどより長い場合、既存の DBSC 法の平均再生中断時間はカルーセル法よりも長くなっているが、提案する DTSM 法では、40 秒まで最短の平均再生中断時間を与えている。これは、シーケンシャルモードにより、ブロックを順番に放送することで多くの再生端末が未受信のブロックを放送できているためである。平均要求到着間隔が 40 秒より長い場合、カルーセル法の平均再生中断時間が短くなっているのは、再生端末の数が少なく通信で要求されているブロックを放送するよりも、つねにブロックを順番に放送する方が、多くの再生端末に同時にブロックを配信できるためである。

(3) 受信済データを考慮した手法

概要

これまでの手法では、再生端末がすでに受信したデータを考慮していなかったため、再生途切れ時間の短縮に効果的なデータを放送しているとは限らなかった。そこで本研究では、再生端末の受信済みデータを考慮して動的に放送するデータを決定し、再生途切れ時間を短縮する SET-C (Shortest Extra Time per Client) 法を提案する。

提案手法

放送通信融合環境におけるストリーミング配信において、放送を活用するためには、以下の要件をともに満たすブロックを放送することが考えられる。

要件 1: 未受信の再生端末が多いブロック

要件 2: 放送しなければ再生途切れの発生する可能性が高いブロック

要件 1 を満たすことで、放送の利点を活かし、複数の再生端末に同時にデータを配信できる。帯域リソース節約の観点では、最も多い端末が必要とするブロックを放送すべきだが、再生途切れが発生する可能性が高い再生端末が要求しているブロックを放送するとは限らず、再生途切れ時間を効率的に短縮できない。需要数の少ないブロックを通信でとると、多くの再生端末が必要なブロックを通信で要求することになって、通信帯域が分

断されてブロックの受信に時間がかかり、やはり再生途切れ時間を効率的に短縮できない。このため、再生途切れ時間を短縮するためには要件 2 も求められる。要件 2 を満たすことで、将来起こりうる再生途切れを防げる。

そこで、放送しなければ再生途切れの発生する可能性が高いブロックを放送するために、SET-C 法では、余裕時間を用いる。余裕時間とは、次に再生が途切れる可能性のある時刻までの時間を表す。SET-C 法では、余裕時間が最も短い再生端末が未受信のブロックを放送する。再生途切れの発生する可能性が最も高い再生端末の要求するブロックを放送できるため、要件 2 を満たしやすい。具体的には、以下の式で与えられる再生端末 j が通信で要求しているブロックを放送する。再生端末 i の余裕時間を E_i とし、 N は再生端末の集合である。

$$E_j = \min_{i \in N} E_i \quad (2)$$

ストリーミング配信サービス開始時からブロックの放送を開始し、決定したブロックの放送が終了すると、再び同様の方法で次に放送するデータを決定する。

評価

視聴要求の平均到着間隔が短い場合、視聴中の再生端末の数が増え、通信量が増加して再生途切れ時間が長くなると考えられる。そこで視聴要求の平均到着間隔を変化させ、各手法の再生途切れ時間をシミュレーションした。平均再生途切れ時間の結果を図 5 に示す。横軸は視聴要求の平均到着間隔、縦軸は再生端末の平均再生途切れ時間を表す。

提案する SET-C 法では、受信済みデータを考慮して余裕時間を用いて放送するブロックを決定することで、再生が途切れる可能性が高い再生端末が要求しているブロックを放送でき、再生途切れ時間を効率良く短縮できている。図 5 より、ほとんどの平均到着間隔において、SET-C 法は最短の再生途切れ時間を与えている。SET-B 法では、平均到着間隔が 20 秒あたりで急激に平均再生途切れ時間が短くなっている。これは、放送されるブロックを要求している再生端末の数は少ないが、平均到着間隔が短い場合と比べて通信帯域が小さくならないためである。SET-C 法は各再生端末の余裕時間を用い、SET-B 法ではブロックごとの余裕時間の平均値を用いている点が異なる。視聴要求の平均到着間隔が短くなって再生端末の数が増えると、平均再生途切れ時間が長くなる。しかし、提案手法では、余裕時間に基づいて放送するブロックを決定することで、他の手法と比べて各再生端末は再生開始時刻までにブロックを受信完了できる割合が高くなる。このため、再生端末の数が増えても、他の手法に比べて平均再生途切れ時間を短く抑えられ、スケラビリティの問題を軽減できることが分かる。

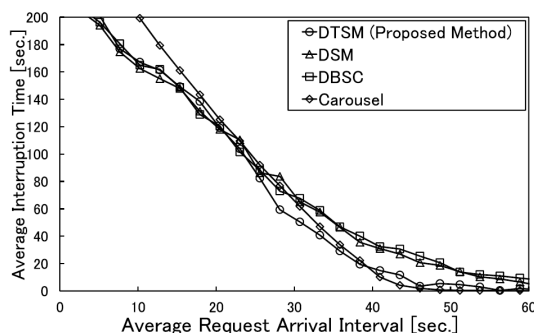


図 4: DTSM 法の平均再生中断時間

以上のとおり、本研究では、電波放送を用いて多数の再生端末に対してオンデマンド配信する次世代オンデマンド型視聴形態において、「分割放送」「端末伝送」「ピース除去」という技術を用いた放送通信融合環境のための再生中断時間短縮手法を幾つか提案した。これらの手法を評価し、有効な状況を明らかにした。今後、移動型端末へのオンデマンド配信や、センサデータなどの映像データ以外のデータのオンデマンド配信における手法を提案していく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 12 件)

梅澤真弘、義久智樹、原隆浩、西尾章治郎、放送通信融合環境における再生端末の受信済データを考慮したストリーミング配信手法、情報処理学会論文誌、Vol. 54, No. 11, pp. 2349 - 2359

Yusuke Gotoh, Tomoki Yoshihisa, Hideo Taniguchi, Masanori Kanazawa, W. Rahayu, Y.P.P. Chen, A Scheduling Method to Reduce Waiting Time for Close-range Broadcasting, Mobile Information Systems Journal (MOBIS), 査読有, Vol. 8, Issue 4, 2012, pp. 303 - 314

DOI : 10.3233/MIS.2012.00150

Tomoki Yoshihisa, Shojiro Nishio, A Division-based Broadcasting Method considering Bandwidth for NVoD Services, IEEE Transactions on Broadcasting, 査読有, Vol. 59, No. 1, 2013, pp. 62 - 71

DOI : 10.1109/TBC.2012.2229846

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ストリーミング配信手法、情報処理学会論文誌、査読有、Vol. 54, No. 5, 2013, pp. 519 - 528

義久智樹、西尾章治郎、放送通信融合環境におけるデータ受信時間を考慮した映像配信手法、情報処理学会論文誌、査読有、Vol. 53, No. 5, 2012, pp. 1522 - 1531

〔学会発表〕(計 39 件)

川上朋也、石芳正、義久智樹、寺西裕一、P2P 型センサデータストリーム配信システムにおける耐障害性向上のための複製ノード配置手法の検討、マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2014) pp. 261

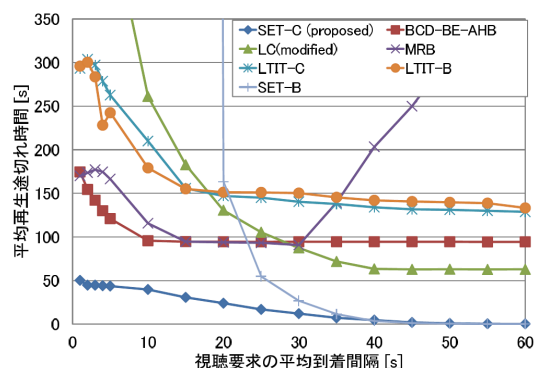


図 5 : 受信済みデータを考慮した手法の平均再生中断時間

- 267、2014 年 12 月 10 日、ホテル玉泉 (島根県松江市)

Yoshimasa Ishi, Tomoya Kawakami, Tomoki Yoshihisa, Yuuichi Teranishi, A P2P Streaming System for Delivering Sensor Data Streams with Different Collection Cycles, IEEE International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP2014), 6 pages, 2014 年 4 月 23 日, Singapore EXPO Convention and Exhibition Centre (Singapore, Singapore)

Tomoki Yoshihisa, A Small Gadget for User Generated Live Streaming, IEEE Consumer Communications & Networking Conference (CCNC2014), 2014 年 1 月 11 日, Planet Hollywood (NV, U.S.A.)

Tomoki Yoshihisa, Shojiro Nishio, Evaluations on Playback Interruption Control for Broadcast and Communication Integrated Video-on-Demand Systems, International Workshop on Advances in Data Engineering and Mobile Computing (DEMoC2013), 2014 年 9 月 4 日, KDJ Convention Center (Gwangju, Korea)

Masahiro Umezawa, Tomoki Yoshihisa, Takahiro Hara, Shojiro Nishio, Interruption Time Reduction Methods with Finer Data Division for Streaming Delivery on Hybrid Broadcasting Environments, IEEE Pacific Rim Conference Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM2013), 2013 年 8 月 27 日, University of Victoria (Victoria, Canada)

Tomoki Yoshihisa, Shojiro Nishio, A Video Streaming Delivery Method considering the Number of Clients on Hybrid Broadcasting Environments, IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2012), 2012 年 10 月 4 日, Makuhari Messe (Chiba, Japan)

横山正浩、義久智樹、原隆浩、西尾章治郎、P2P ストリーミング環境におけるモデル・動作分離型コンテンツの再生途切れ時間短縮のための分割データ受信方式、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 (DICOMO2012) 2012 年 7 月 5 日、ホテル百万石 (石川県加賀市)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www-nishio.ist.osaka-u.ac.jp/~yoshihisa/index-jp.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

義久 智樹 (YOSHIHISA Tomoki)

大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授

研究者番号 : 0 0 4 0 2 7 4 3