

令和元年6月25日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02702

研究課題名(和文)再生継続型次世代ビデオオンデマンドシステムの実現

研究課題名(英文) A Realization of Continuous-Play-Oriented Next Generation Video-on-Demand Systems

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) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：スマートフォンでYouTubeの投稿動画の視聴中に再生が途切れることがあるように、現状のビデオオンデマンド配信では、再生端末の数が増えると再生が途切れる。本研究では、放送通信融合環境を用いた新しいビデオオンデマンドシステム(次世代ビデオオンデマンドシステム)を全体構想とし、途切れずに継続的に再生できる再生継続型のビデオオンデマンド配信という誰もが不可能と考えていた困難な問題に取り組んだ。この目的を達成するため、代表者がこれまで専門的に行ってきた再生途切れ時間短縮方式を進化させ、「マージチェーンニング」「再生環境適応型映像品質」「代替映像創出」という従来のアプローチとは異なる技術を打ち出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的な特色は、次世代ビデオオンデマンドシステムというこれまでにない全く新しいビデオオンデマンドシステムを誕生させる点にある。次世代ビデオオンデマンドシステムを誕生させるために、再生が途切れな映像配信方式を提案する。同様の目的をもつ研究が発表されているが、再生端末の数が非常に多いと再生途切れ時間が長くなって次世代ビデオオンデマンドシステムを実現できなかった。本研究を発端として次世代ビデオオンデマンドシステムが普及する波及効果が期待される。国際的にも次世代ビデオオンデマンドシステムに関する先駆的な研究となることが予想され、情報通信分野の発展に大きく貢献できる意義がある。

研究成果の概要(英文)：As video plays interrupt when users watch uploaded videos to YouTube on their smart phones, playbacks interrupt when the number of the clients is large on current video-on-demand delivery. In this research, assuming that a novel video-on-demand system which uses hybrid broadcasting environments (a next generation video-on-demand system), we challenged a continuous-play-oriented video-on-demand delivery in which the users can play videos continuously. This includes some difficult problems that most of researchers supposed impossible to solve. To solve these problems, we extended our previously proposed interruption time reduction schemes and proposed unique techniques called "merge chaining", "play-environments-aware video quality", and "alternative video creation", which are different from conventional approaches.

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 ストリーミング インターネット放送

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

YouTube や Hulu といったインターネット放送では、視聴したいときに視聴したい映像を視聴するビデオオンデマンド配信が可能だが、再生端末が多い場合に再生途切れ時間が長くなる問題がある。再生途切れ時間とは、再生開始時刻までに映像のデータの受信が間に合わず、再生が途切れている時間の合計である。例えば、人気のある動画の再生ボタンをタップ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映像配信ができて再生が途切れにくい。ビデオオンデマンド配信ができない問題がある。YouTube の投稿動画は約 4 億個あり、電波放送（地上波デジタルテレビ）の同時配信可能チャンネル数は最大 6 個であることを考えると、映像の数が非常に多く、インターネット放送を電波放送に単純に置き換えるだけでは、再生途切れのない映像配信は不可能である。あらかじめデータを受信しておいて後で再生することで途切れのない再生が可能だが、映像の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、電波放送とインターネット放送を融合させた次世代ビデオオンデマンドシステムにおける、途切れずに継続的に再生できる再生継続型ビデオオンデマンドシステムの実現を目的とする（図 1）。具体的な方法は後に記述しており、提案手法を用いることで再生途切れのないビデオオンデマンド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 ACM SIGCOMM2012 や IEEE ICC2013 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。ある既存研究では、インターネット放送において、複数の映像配信経路を用いることで大きい通信帯域を確保して再生途切れ時間を短縮している（通信帯域確保技術）。また、通信帯域に応じて映像のビットレートを変更して通信量を削減し、短い再生途切れ時間を実現する研究もある（通信帯域適応技術）。しかし、多数の再生端末に対してビデオオンデマンド配信する点が非常に難しく、これらの技術だけでは途切れのない再生を実現できなかった。本研究では、これらの技術に加えて、「マージチュエニング」「再生環境適応型映像品質」「代替映像創出」といった技術を打ち出し、再生途切れのない次世代ビデオオンデマンドシステムを実現する独自の方式を提案する。本研究の位置づけを図 2 に示す。

2. 研究の目的

本研究では、電波放送（放送）とインターネット放送（通信）を組み合わせた放送通信融合環境を用いて再生継続型のビデオオンデマンド配信を可能とする。放送通信融合環境ならではの点は、再生端末が放送と通信両方からデータを受信できる点である。単に組み合わせるだけでは効率良くデータを受信できず、放送と通信両方の配信状況を考慮してデータを受信しなければならない点が非常に難しく、これまでに誰もが不可能と考えていた。研究期間内に以下を明らかにする。

項目 1：配信側の戦略

配信側の戦略として、本研究ではマージチュエニング技術を用いる。マージチュエニングでは、先に映像の再生を開始した再生端末が、後に再生を開始した複数の再生端末にデータを送信する。通信負荷の少ない再生端末から速くデータを受信することで、再生を途切れにくくできる。しかし放送からのデータ受信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効率良く再生を途切れにくくする配信方式が明らかにされていなかった。そこで本項目では、放送通信融合環境において再生を途切れにくくするマージチュエニングを明らかにする。

項目 2：映像品質に関する戦略

映像品質に関する戦略として、本研究では再生環境適応型映像品質を用いる。再生環境適応型映像品質では、再生端末の処理能力や電池残量などの再生環境に応じて映像のサイズやフレームレートといった映像品質を決定する。再生できる映像品質の範囲内で映像を配信することで、再生を途切れにくくできる。しかし据え置き型の再生端末を主対象としていたため、スマートフォンなどの移動型の再生端末における様々な再生環境に適応できなかった。そこで本項

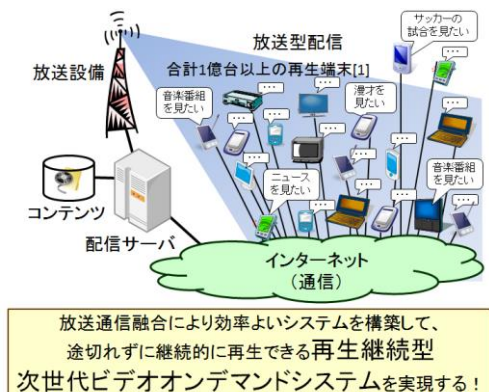


図 1：本研究の全体構想

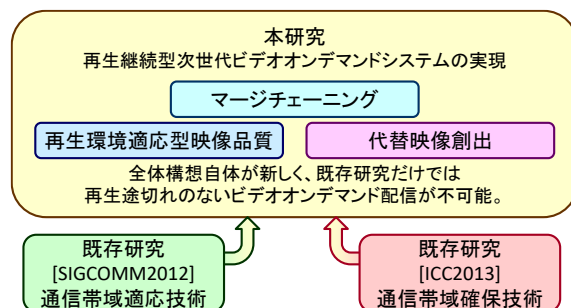


図 2：本研究の位置づけ

目では、様々な再生環境において、再生が途切れにくい映像品質を明らかにする。

項目3：受信側の戦略

受信側の戦略として、本研究では代替映像創出技術を用いる。代替映像創出では、視聴中の映像のデータの受信が再生に間に合わなかった場合に、代わりに再生する映像を予備のデータから創出する。代替りのデータを再生することで、再生を継続できる。しかしこれまでに代替映像を創出する技術について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、再生が途切れないように予備データを放送または通信で配信する手法を明らかにする。

本研究の学術的な特色は、次世代ビデオオンデマンドシステムというこれまでにない全く新しいビデオオンデマンドシステムを誕生させる点にある。次世代ビデオオンデマンドシステムを誕生させるために、再生が途切れにくい映像配信方式を提案する。1章に記述したように、同様の目的をもつ研究が発表されているが、再生端末の数が非常に多いと再生途切れ時間が長くなって次世代ビデオオンデマンドシステムを実現できなかった。本研究では、放送通信融合環境を用い、既存の技術に加えて「マージチェーニング」「再生環境適応型映像品質」「代替映像創出」といった技術を打ち出して再生継続型次世代ビデオオンデマンドシステムを実現する点に独創性がある。革新的な全体構想であり、本研究を発端として次世代ビデオオンデマンドシステムが普及する波及効果が期待される。国際的にも次世代ビデオオンデマンドシステムに関する先駆的な研究となることが予想され、情報通信分野の発展に大きく貢献できる意義がある。

研究代表者はこれまで、ビデオオンデマンドシステムの配信側の戦略により再生途切れ時間を短縮する手法を専門的に研究してきた。本研究は、配信側だけでなく、映像品質や受信側の戦略も含めたビデオオンデマンドシステム全体を対象とする点が異なり、再生継続型次世代ビデオオンデマンドシステムの実現に伴う問題を解決するよう、これまでの研究成果を進化させる。

3. 研究の方法

本研究では、途切れずに継続的に再生できる再生継続型次世代ビデオオンデマンドシステムを実現するため、再生途切れのないビデオオンデマンド配信を目的とする。本目的を達成するため、放送通信融合環境を用いる。最終的には3項目と既存技術を統合して途切れずに継続的に再生できる再生継続型次世代ビデオオンデマンドシステムを研究期間内に実現するが、各項目で取り組む問題は難しく、初めから統合することは困難である。そこで、各項目を分けて研究した後に統合を行った。統合に伴い、各項目の拡張を行った。国際的にも認められる価値の高い研究成果を達成するために、学術的観点から、各項目の専門的な知識をもつ複数の研究者で研究組織を構成して研究を推進した。

4. 研究成果

4.1. 配信側の戦略

まず項目1に関して、マージチェーニング技術を用い、効率良く再生を途切れにくくするマージチェーンスケジュールを作成した。放送通信融合環境におけるマージチェーニングでは、先に映像の再生を開始した再生端末が、後に再生を開始した複数の再生端末に通信でデータを送信しつつ（チェーン）、放送で複数の再生端末に同時にデータを配信する（マージ）。例えば、図3に示すように再生端末1が電車の中で8時に5分間のニュース番組を再生する場合を考える。その1分後の8時1分に再生端末2が同じニュース番組を再生する。この場合、従来であれば8時1分から5分までの4分間2本分の映像ストリーム（映像データの最初から最後までの一連のデータ群）を配信する必要がある。しかし、再生端末1が8時から受信したニュース番組の初めの1分間のデータを再生端末2に送信し、8時1分から、ニュース番組1分後からの映像を再生端末1と2にまとめてマージストリームとして配信することで1本分の映像ストリームを配信するだけで再生端末1と2は最初から最後まで途切れのない再生が可能になる。これは、再生端末2が、初めの1分間の映像データは再生端末1から受信し、後の4分間の映像データはマージされた映像ストリームから受信できるためである。本研究では、このようにして従来複数本必要な映像ストリームをまとめることにより通信量を削減するマージチェーニ

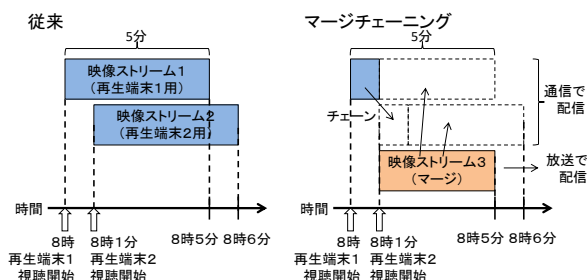


図3：マージチェーニングの例

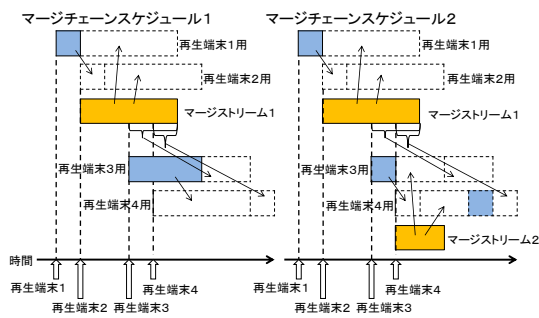


図4：複数マージチェーニングの例

ングを提案した。この例では1種類の映像を2台の再生端末が再生する非常に簡単な場合を示したが、実際には複数種類の映像を複数台のモバイル端末が再生する状況においてマージチェーンニングを行う必要がある。この場合、すべての映像ストリームを1本の映像ストリームにマージするよりも複数の映像ストリームにマージした方が通信量を削減できることがある。例えば図4の場合、左側のマージチェーンスケジュール1よりも右側のマージチェーンスケジュール2の方が全体的な通信量を削減できている。単純にすべてをマージおよびチェーンすればよいという単純な技術ではなく、視聴開始時刻や再生位置、通信帯域を考慮して通信量を最も削減できるようにマージチェーンスケジュールを作成している。

4. 2. 映像品質に関する戦略

次に項目2では、再生環境適応型映像品質を用いた。具体的には、再生途切れに関連する再生環境の要素を洗い出し、要素毎に再生が途切れにくい映像品質を明らかにしてECAルールで記述できるようにした。例えば、スマートフォンの動作周波数が500MHzであれば、処理能力が低すぎて高品質(2Mbps)の映像を再生できないため、低品質(386Kbps)の映像を配信することや、電池残量が少なくて映像を最後まで再生できない場合には、消費電力の少ない低品質の映像を配信することが考えられる。

再生環境適応型映像品質では、負荷を分散させるため、各計算機に割り当てる処理を記述できる必要がある。処理内容が頻繁に変化しない場合には明示的に記述して割り当て、頻繁に変化する場合には処理内容に応じて動的に割り当てることが考えられる。本研究では、これらの処理割り当てを柔軟に記述できるように、ECAルールを用いて処理を割り当てた。これまでの研究では、配信者の操作負担の軽減へとつなげる為、撮影時の様々なイベントを起点とし、ECA(Event, Condition, Action)ルールによるイベントドリブン処理を自動的に実行し最適な状態になるようにリアルタイム処理を各計算機に遂行させていた。本研究の提案手法では、負荷の高い計算機に向けての映像処理要求を避けるように負荷分散ルールをECAルールにて記述し、ECAルール配信サーバから映像処理サーバに配信する。一例として、PIAXと呼ばれるミドルウェアを用いて実装した。映像撮影端末には映像撮影端末ソフトウェアとPIAXプロセス、配信サーバには配信ソフトウェアとPIAXプロセスを配置する。PIAXとは、オーバーレイネットワークが持つ探索機能を利用することにより、サーバレスで効率の良いリソース探索を実現するJavaベースのプラットフォームミドルウェアであり、オープンソースソフトウェアとして公開されている。映像撮影端末ソフトウェアとPIAXプロセス間の通信にはJSON-RPCを用いるが、一般のJSON-RPCで使用されるHTTPは過剰品質なため、本システムではTCPコネクション上で直接JSON-RPCを送受信する。映像撮影端末側でどの配信サーバへ最初に問い合わせるかを効率化することにより、処理完了までの時間を短縮できる。また、処理の種類によっては、特殊な処理演算ライブラリソフトを実装しているサーバでのみ行われる場合がある。この問い合わせの初期値問題をスムーズに解決するために、本研究ではECAルールをクライアントソフトウェアに持たせることとした。クライアントソフトウェアに持たせる負荷分散の為のECAルールには、クライアントソフトウェア利用者のエフェクト選択をイベントとし、それに対応した初期の問い合わせ先の一覧をIPアドレスとして予め設定しておく。これにより、特殊な処理にもサーバ選択が自動的にスムーズに行われる。

ターンアラウンドタイムの評価結果を図5、図6に示す。配信サーバ1台に負荷が集中する図5の場合、単調にターンアラウンドタイムが増え、配信サーバ4台で処理要求を分散した図6では、後半のフレームカウントにて計算負荷を増加させているため、後半ではターンアラウンドタイムの増加が見受けられる。しかしながら、前半のフレームカウントでは図5ほど急にはターンアラウンドタイムの増加が見受けられない。また、商用クラウドサービスの同一性能の仮想サーバを用いたが、配信サーバへのネットワーク経路や他の原因によりターンアラウンドタイムにばらつきが見られた。前半のフレームカウント時点では、図5に比べ図6のターンアラウンドタイムがなだらかに増加していることから、映像効果処理要求の集中は避けられている。この結果、配信サーバ間でECAルールに基づいて処理要求が割り当てられ、負荷を分散できることを確認した。

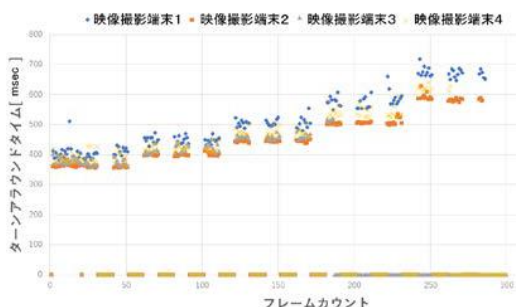


図5：配信サーバが1台の場合

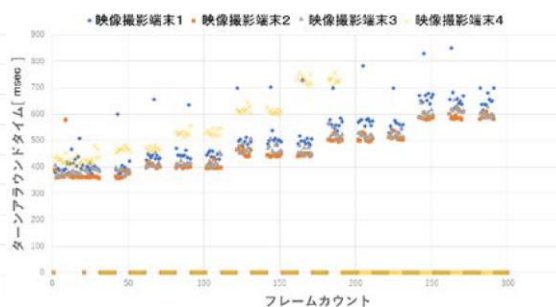


図6：配信サーバが4台の場合

4. 3. 受信側の戦略

最後に項目 3 では、代替映像創出技術を用いた。具体的な研究方法として、全天球映像から予備データを作成して配信する方法を明らかにした。代替映像は、視聴要求を出した映像のデータの受信が再生に間に合わない場合に代わりに再生する映像である。映像データそのものをバッファリングしておく従来の方法とは異なり、代替映像は、利用者が視聴を続けるモチベーションを維持するための映像である。

全天球カメラを用いると、360 度パノラマ画像を作成する場合等に、ある視点からの全方位の写真を数十枚撮影してコンピュータ上で合成処理する必要がなくなり、一度の撮影でパノラマ画像が作成でき、リアルタイムに全方位の画像情報が得られる。この度用いる全天球カメラによる画像は、魚眼レンズが前後に合わさった、前後 180 度ずつの図 8 左下部のような 360 度の視野の画像が得られる。これらの映像を切り出して平面画像に変換する必要があり、本研究での実装は魚眼レンズで得られた仮想半球状の映像に接する平面に対して射影して得られた映像を切り出し、図 8 の左上部のような画像として閲覧するシステムとした。仮想半球状の極座標から直交座標に変換する処理や多くの全天球カメラが高い解像度の映像をリアルタイムに配信する事から、多くの計算資源を一度に扱う為、変換時に映像が途切れる場合がある。この場合には配信サーバを用いて極座標・直交座標変換処理の分散処理を行った。

本研究では、Microsoft Azure サービスが提供する仮想マシン上に構築された実装システムを使用して、提案された方法の有効性を評価した。実験では、RICOH 社製 Theta S を全天球カメラとして用いた。動画映像の各 1 フレームを jpeg 形式で符号化して送受信し、RICOH THETA UVC Blender 経由で USB の仮想カメラ映像として送信した。極座標・直交座標変換処理等の各フレームの映像効果を分散処理し、再生継続型ビデオオンデマンドを実現させた。評価では、人物が撮影されている映像の顔認識により得られた人物周辺を矩形で囲った際の矩形内の画像データをデータベースへ登録するまでのターンアラウンドタイムを計測し、分散処理により短縮できるかを確認した。

評価では、ECA ルールに記載された指定された方法で代替映像を創出していた。結果、仮想マシン間でターンアラウンドタイムの変動が確認された。これは、ネットワーク距離のクラウド環境の違いで実際のサーバのパフォーマンスの変動などの要因によって発生する。ユーザがシステムを構成するときには、これらの変動があることを考慮する必要がある。また、ECA ルール定義にはさらなる改善が必要である。また、代替映像創出には手順があり、例えば、顔検出処理は、一般に、検出された顔のモザイク効果の前に実行される。提案されたシステムにおける ECA ルールの「Timer」または「Message」機能は、そのような手順を定義することができる。その手順が ECA ルールで定義され、ECA ルールに順序依存性がある場合、システムは順序に沿ってそのルールと処理要求を同時に実行する必要がある。それ以外の、ECA ルールが処理要求に依存しない場合、ルールを並行して実行することができ、順序依存の関係を持つ ECA ルールと比較して処理時間を短縮できる。現在のシステムでは、ECA ルールを並行して処理することができず、クラウドコンピューティングサービスに対する並列処理が今後の課題となる。

4. 4. まとめ

本研究では、放送通信融合環境を用いた新しいビデオオンデマンドシステム（次世代ビデオオンデマンドシステム）を全体構想とし、途切れずに継続的に再生できる再生継続型のビデオオンデマンド配信に関する研究を遂行した。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途切れ時間短縮方式を進化させ、「マージチェーニング」「再生環境適応型映像品質」「代替映像創出」を提案し、評価を行って有効性を確認した。今後、エッジコンピューティングや人工知能技術を活用してより効率に映像データを配信する手法を提案する予定である。

```
{
  "Rule A": {
    "eventname": "Set_effect",
    "condition": {
      "name": "Num_Find_Object",
      "object": "object1_haar.xml",
      "Value": ">=1"
    },
    "action": {
      "name": "REQ_IP",
      "IP_address": "192.168.0.5"
    }
  },
  "Rule B": {
    "eventname": "Set_effect",
    "condition": {
      "name": "Spherical_coordinates_Convert",
      "Value": ">=1"
    },
    "action": {
      "name": "REQ_IP",
      "IP_address": "192.168.0.6"
    }
  }
}
```

図 7：ECA ルールの例

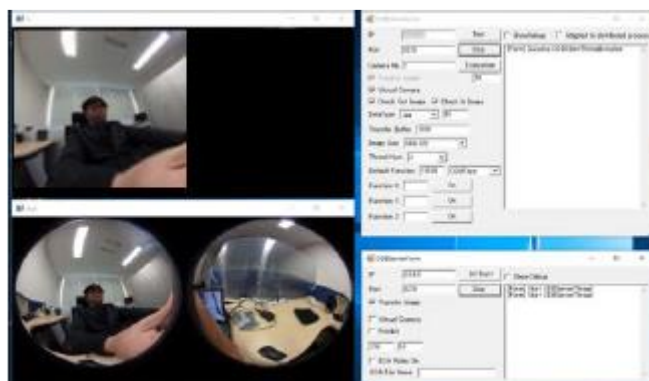


図 8：映像配信ソフトのスクリーンショット

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① Ei Khaing Win, Tomoki Yoshihisa, Yoshimasa Ishi, Tomoya Kawakami, Yuuichi Teranishi, Shinji, Lightweight and Secure Certificateless Multi-receiver Encryption based on ECC, 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 9, 2018, pp. 1-13, 査読有
DOI: 10.2197/ipsjip.26.612
- ② Tomoki Yoshihisa, Tomoya Kawakami, Yusuke Gotoh, Zero Interruption-Oriented Techniques for Mobile Video-on-Demand in Hybrid Broadcasting Environments, International Journal of Informatics Society (IJIS), Vol. 9, No. 2, 2017, pp. 85-93, 査読有
- ③ Tomoya Kawakami, Yoshimasa Ishi, Tomoki Yoshihisa, Yuuichi, A Sensor Data Stream Delivery Method to Accommodate Heterogeneous Cycles on Cloud, IEICE Transactions on Communications, Vol. E99-B, No. 6, 2016, pp. 1331-1340, 査読有
DOI: 10.1587/transcom.2015EBP3445
- ④ Yusuke Gotoh, Akihiro Kimura, Implementation and Evaluation of Division-based Broadcasting System for Webcast, Journal of Digital Information Management (JDIM), Vol. 13, Issue 4, 2015, pp. 234-246, 査読有

[学会発表] (計 31 件)

- ① 松本哲、石芳正、義久智樹、川上朋也、寺西裕一、全天球カメラを用いたクラウド分散型インターネットライブ放送システムの評価、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 (DICOM'18) 論文集、Vol. 2018、pp. 523-529
- ② Zennosuke Aiko, Keisuke Nakashima, Tomoki Yoshihisa, Takahiro Hara, A Social Sensor Visualization System for a Platform to Generate and Share Social Sensor Data, Proceedings of the IEEE International Conference on Computers, Software & Applications (COMPSAC'18), 2018, pp. 628-633
- ③ Ei Khaing Win, Tomoki Yoshihisa, Yoshimasa Ishi, Tomoya Kawakami, Yuuichi Teranishi, Shinji Shimojo, A Lightweight Multi-receiver Encryption Scheme with Mutual Authentication, Proceedings of the IEEE International COMPSAC Workshop on Security, Trust and Privacy for Software Applications (STPSA'17), 2017, pp. 491-497
- ④ Tomoya Kawakami, Satoru Matsumoto, Yoshimasa Ishi, Tomoki Yoshihisa, Yuuichi Teranishi, An Implementation of a Rule-Based Distributed Video Processing System, Proceedings of the IEEE International Symposium on Local and Metropolitan Area Networks (LANMAN'17), 2017, 2 pages
- ⑤ Yusuke Gotoh and Tomoki Yoshihisa, A Scheduling Method for Area-based Broadcasting Considering Loading Time, Proceedings of International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM'15), 2015, pp. 254-258
- ⑥ 義久智樹、原隆浩、IoT 環境におけるストリーミング処理時間短縮手法、マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS'15) 論文集, 2015, pp. 62-70

[図書] (計 1 件)

- ① Tomoya Kawakami, Yoshimasa Ishi, Tomoki Yoshihisa, Yuuichi Teranishi, Smart Sensor Data Stream Delivery Technologies, Smart Sensors Networks: Communication Technologies and Intelligent Applications (Series: Intelligent Data Centric Systems), Elsevier, 2017, pp. 97-122

[その他]

ホームページ等

<http://www-mmde.ist.osaka-u.ac.jp/~yoshihisa/dwb/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：後藤 佑介

ローマ字氏名：GOTOH, yusuke

所属研究機関名：岡山大学

部局名：自然科学研究科

職名：准教授

研究者番号 (8 桁)：10551038