

機関番号：14401

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21700108

研究課題名 (和文) 端末伝送型インターネット放送におけるコンテンツ配信方式

研究課題名 (英文) Contents Delivery Schemes on Node Relay-based Webcast

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

研究成果の概要 (和文)：近年、インターネットを介した映像配信サービスの普及に伴い、端末伝送型インターネット放送に注目が集まっている。端末伝送型インターネット放送では、再生端末間でストリーミングデータを分割して送受信することで、サーバに発生する負荷を軽減できる。しかし、分割データの受信が再生に間に合わない場合、再生に途切れが発生する。そこで本研究では、端末伝送型インターネット放送における再生途切れ時間短縮のためのコンテンツ配送方式を提案する。

研究成果の概要 (英文)：Due to the recent prevalence of Internet streaming services, there has been an increasing interest in node relay-based webcast. In node relay-based webcast, the load of the server can be reduced by transmitting divided streaming data among clients. However, if clients cannot receive a piece of the divided data until the time to play it, an interruption of the play occurs. In this paper, we propose contents delivery schemes to reduce interruption time on node relay-based webcast.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：情報システム、ビデオオンデマンド

1. 研究開始当初の背景

近年、マルチメディアコンテンツのデジタル化が急速に進み、高画質、高音質なマルチメディアコンテンツをインターネットを介して配信するインターネット放送が広く普及している。これまでの電波放送とは異なり、非常に多くのコンテンツを視聴者に提供できる利点があるが、人気のあるコンテンツに視聴要求が集中すると、配信サーバの負荷が大きくなり、コンテンツの再生が頻繁に中断されるという問題が発生する。そこで本研究では、端末伝送型のインターネット放送に着目する。端末伝送型インターネット放送では、

コンテンツに関するインデックス情報を一括に管理するサーバと、ピアと呼ばれるユーザが操作する端末でP2P (Peer-to-Peer) ネットワークが構成される。P2P ネットワークに参加しているピア同士でデータを送受信することにより、サーバ・クライアント型でサーバに集中していた通信負荷を低減できる。

端末伝送型インターネット放送では、コンテンツのデータをピースと呼ばれる幾つかのデータに分割して配信し、ピアはP2P ネットワークに接続している複数のピアからピースを受信する。ピアは再生開始時刻までに

ピースを受信することで、コンテンツを途切れることなく再生できる。しかし、ピースの再生開始時刻までにそのピースを受信できていない場合、コンテンツの再生が途切れるという問題が発生する。コンテンツの再生が長時間途切れると、ユーザは動画の展開や内容に集中できずストレスとなり、快適に視聴できない。また、再生途切れ時間が長くなると、ユーザはコンテンツの視聴を中止することも考えられる。

端末伝送型インターネット放送においてコンテンツ再生の途切れ時間を短縮するためには、通信するピアと受信するピースを適切に選択する必要があり、以下の2点を考慮することが重要である。

- ・ピースの緊急性

現在の再生位置から近い将来に再生されるピースほど緊急性が高く、ピアはより早くそのピースを受信しなければ再生途切れ時間が長くなる。前半のピースほど緊急性が高く、緊急性の高いピースを優先して受信する方が再生途切れ時間を短縮できる。

- ・ピースの希少性

ネットワーク内に存在するピースの数に偏りがある場合、数が少ないピースを保持するピアに受信要求が集中するため、受信に時間がかかり、再生途切れ時間が長くなる。したがって、数が少ないピースほどネットワーク内に早く分散させ、ピースの数を増加させるほど再生途切れ時間を短縮できる。

これまでに再生途切れ時間を短縮する研究は行われているが、ピースの緊急性と希少性のどちらかしか考慮されていないという問題があった。また、ピアがコンテンツの視聴を中止することを想定していなかった。実環境では、再生途切れ時間が長いピアはコンテンツの視聴を中止することが考えられ、再生途切れ時間の上限を考慮して視聴を中止する端末の数（視聴中止ピア数）を削減する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、端末伝送型インターネット放送における再生途切れ時間を短縮するためのコンテンツ配信方式 BIS (BiToS+Immediacy and Scarcity) 方式を提案する。BiToS は従来手法の一つである。BIS 方式では、各ピースに対して、ピースの緊急性と P2P ネットワーク内のピースの希少性を考慮して重要度を計算する。重要度の高いピースを優先して受信することで、再生途切れ時間を短縮する。さらに、BIS 方式を拡張した手法を 3 種類提案し、視聴中止ピア数を削減する。シミュレーション実験により、BIS 方式を用いることで、既存手法と比較して端末伝送型インターネット放送におけるコンテンツの再生中に発生する途切れ時間を短縮できるだけな

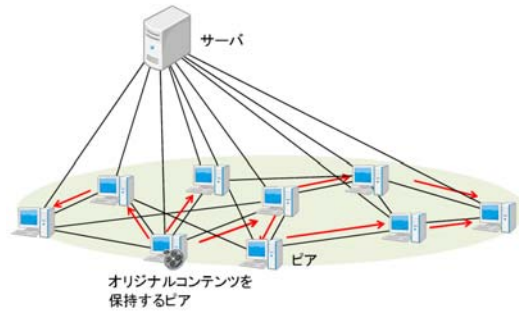


図 1: システム構成

く、視聴中止ピア数を削減できることを確認する。

3. 研究の方法

(1) 想定環境

① システム構成

図 1 に示すように、P2P ネットワークにはコンテンツを共有するピアとそのネットワークを管理するサーバがある。サーバは、P2P ネットワークに参加しているピアの通信速度とコンテンツの取得状況を管理している。ピアは定期的にサーバにアクセスし、P2P ネットワークに参加しているピアの情報を取得する。オリジナルのコンテンツを保持するピアは最初一つだけである。ピアはまず視聴するコンテンツの配信サービス元を Web ページなどから調べ、データの情報とサーバのアドレスを取得する。コンテンツを視聴したいときは、サーバに接続してピースを保持するピアのリストを取得する。ピアはピアリストを参照して、通信ピアを選択しピースを受信する。ピースの受信が完了すると、そのピースを再生できる。

② ピースの受信方法

ピアはまずサーバから取得したリストにある P2P ネットワークに参加している幾つかのピアと接続する。その後、定期的に接続するピアを更新し、新たな接続ピアから必要なピースを受信する。ここで、ピアの通信負荷を分散させるためピアあたりの同時に通信可能なピア数は制限されており、制限数以上の送信要求が発生すると、他のピアに送信を完了するまでピースの受信を待機しなければならない。そこで、端末伝送型インターネット放送では、ピアは 2 つの方法を利用して定期的にピアとの接続の更新を試みる。

一つは送信速度の速いピアと接続する方法である。P2P ネットワーク内のピア間の通信帯域は異なるため、送信速度の速いピアと接続することでピースを早く受信でき、再生途切れ時間を短縮できる。しかし、通信速度の速いピアとのみ接続しようとするだけでは、通信を行うピアに偏りが起こる。そこで、二つ目の方法では、ピアリストからランダム

にあるピアを選択し接続する。例えば、ピアが4個のピアと接続するとき、各ピアは3個のピアを一つ目の方法から選択し、残りの1個のピアを二つ目の方法から選択する。

③コンテンツの再生方法

扱うデータは映画やドラマなどのビデオコンテンツやラジオのような音声コンテンツである。オリジナルコンテンツは配信開始時点でファイルとして完成しており、音楽ライブやスポーツ中継のような生放送は想定しない。コンテンツは n 個のピースに分割される。本研究では、ピアはコンテンツの先頭ピースを受信し終えた時点で、コンテンツを先頭からピース単位で再生するものとし、早送りや巻き戻しは行わない。また、コンテンツの配信を効率的に行うために、再生後のピースも全てキャッシュする方式を想定する。ピアはコンテンツの再生を終える、または再生途切れ時間が一定値を越えると、視聴を中止して P2P ネットワークから離脱する。

(2) 提案方式

提案する BIS 方式では、重要度を定義し、ピアは接続ピアからピースを受信する際、各ピースの重要度を計算し、最も重要度の高いピースを受信する。

BIS 方式では、未受信のピースを2つのセットに区別する。優先セットから受信ピアを選択する際、ピアはセット内の全ピースに対する重要度を算出し、重要度の高いピアを選択して受信する。低順位セットが選択された場合、セット内のピースは再生されるまでに余裕があるため、緊急性を考慮する必要はない。そこで、低順位セットが選択された場合、レアレストファスト方式を用いて受信ピアを選択する。このように、確率的にコンテンツ後半のピースを受信することでピースの希少性を考慮するため、各ピアの通信負荷を分散できる。ピース i ($i=1, \dots, Np$) に対する重要度 D_i を以下のように定義する。 Np は優先セット内のピースの数を表す。

$$D_i = cI_i + (1 - c)S_i$$

ここで、 I_i はピース i に対する各ピアの緊急性、 S_i はピース i の P2P ネットワーク内における希少性、 c ($0 \leq c \leq 1$) は重み係数を表す。 $c=0$ の場合、BIS 方式は既存手法 BiToS と等しくなる。重要度の最も高いピースが複数存在する場合には、再生位置に近いピアを選択する。

①緊急性 I_i

ピースの再生はコンテンツの再生順に従って行われるため、現在の再生位置から近い将来に再生されるピースほど緊急性が高く、再生されるまで余裕のあるコンテンツ後半のピースほど緊急性が低い。したがって、ピース i に対する各ピアの緊急性 I_i を、次式のような線形関数で定義する。本研究では、簡単化のため、 I_i を単純な線形関数で定義

している。

$$I_i = \begin{cases} 0 & (i \in RP) \\ 1 - \frac{i-h}{n} & (i \notin RP) \end{cases}$$

ここで、 h は次に再生されるピース ID、 n はコンテンツの最後に再生されるピース ID、 RP は受信済みのピースの集合を表す。各ピアは、コンテンツの再生位置から h を把握できる。また、 n はコンテンツの受信要求をサーバに問い合わせた際に取得できる。

②希少性 S_i

希少性 S_i は、ピース i を保持している P2P ネットワーク内のピア数を表す。希少性の高いピースに受信要求が集中すると、ピースの受信速度が低下してしまう。そこで、P2P ネットワーク内に存在する数が少ないピースほど優先して選択されるように、P2P ネットワーク内におけるピース i の希少性 S_i は次式のように定義することで、数が少ないピースが P2P ネットワーク内により早く分散される。

$$S_i = \frac{N - m}{N}$$

ここで、 N は P2P ネットワークに接続している全ピア数、 m はピース i を保持しているピア数を表す。 N, m は、サーバから取得できる。

③視聴中止端末数削減のための拡張手法

・BIS-I 方式

コンテンツの視聴中止を考慮する場合、再生途切れ時間が長いピアは自身の視聴を中止しないために、再生位置に近いピースを優先的に受信することが考えられる。そこで、BIS-I (BIS considering Interruption time) 方式では、緊急性を重視し、再生途切れ時間が T_a 秒以上になる場合、重み係数 c を 1 に変更して重要度に緊急性のみを含めるようにする。

・BIS-E 方式

コンテンツの視聴中止を考慮する場合、コンテンツの再生が途切れるまでの余裕時間が長いピアは、他のピアが視聴を中止しないために、希少性を考慮してピースを受信することが考えられる。そこで BIS-E (BIS considering Extra time) 方式では、余裕時間が T_b 秒以上ある場合、優先セットの選択確率 p を次式で定義する。

$$p = p_f - \frac{Tc}{Tb}$$

p_f は最初にシステムが設定する優先セットの選択確率、 Tc はコンテンツの残り再生時間を表す。

・BIS-IE 方式

BIS-I 方式および BIS-E 方式はそれぞれ独立しており、これらを組み合わせた手法が考えられる。そこで、BIS-IE (BIS considering

Interruption time and Extra time) 方式では、ピースあたりの再生が T_a 秒以上途切れているピアは再生位置に近いピースを受信し、余裕時間が T_b 秒以上のピアは希少性を考慮して受信するピアを選択する。

(3) 性能評価

①シミュレーション環境

有線 LAN でインターネットに繋がった端末で構築する P2P ネットワークを想定し、表 1 に示すパラメータを用いてシミュレーション実験を行った。ピアの到着は他のピアの到着に依存せずポアソン過程であると考え、ピアの到着間隔はポアソン分布で与える。ここで、ピアは到着順にピア ID が割り当てられるものとする。例えば、ピア 0 は P2P ネットワークに最初に参加し、次に参加するピアはピア 1 となる。実験では、400 個のピアが到着するまでをシミュレーションした。また、ピア間の最大通信帯域は全て一定とし、複数のピアと同時に通信する場合、この最大通信帯域を等分割して各ピアに割り当てる。ピアはコンテンツを受信するのに十分な記憶容量を保持するものとし、他のピアにピースを送信するために再生後のピースも保持する。これは、近年のコンピュータがハードディスクのような大容量の記憶容量を保持していることから現実的である。ピアは定期的に通信するピアのリストを更新する。ピアはコンテンツを再生終了後、P2P ネットワークから離脱する。

②評価指標

端末伝送型インターネット放送では、評価指標として、システム全体の負荷や、特定のピアへの通信負荷、再生途切れ時間などが考えられる。ここで、システム全体の負荷や、特定のノードへの負荷の集中は、結果的に再生途切れ時間が長くなることにつながる。システム全体の負荷が大きくなると、帯域幅が減少してピースの送受信に長い時間を要する。その結果、再生開始時刻までにピースを受信完了できる確率が低くなり、再生途切れ時間が長くなる。また、特定のピアへの負荷が集中することは、そのピアが希少なピースを保持していることを表している。この場合、P2P ネットワーク内でのピースの配布に長い時間を要するため、結果として、再生途切れ時間が長くなる。システム設計者の観点では、再生途切れ時間が長くなるとサービスの品質が低下するため、本研究では直接的な性能指標として、平均途切れ時間について評価を行う。端末伝送型インターネット放送におけるほとんどの従来手法では、システム全体の負荷や特定のノードへの負荷の集中を軽減することで再生途切れ時間を短縮している。例えば、リアレストファスト方式は、数の少ないピースを優先的に受信する方式であり、希少なピースを持つピアに通信負荷が

表 1：性能評価のパラメータ

パラメータ	値
コンテンツ長	2700 秒
ビットレート	2Mbps
ピースサイズ	1Mbytes
ピア数	400 個
最大通信帯域	8Mbps
同時に通信可能なピア数	4 個
平均到着間隔	30 秒
通信ピアの切り替え時間	10 秒
視聴中止する途切れ時間	100 秒

集中しないようにしている。提案方式においても、確率的にピースセットを選択し、低順位セット内のピース選択にリアレストファスト方式を用いることで、特定のピアに通信負荷が集中しないようにしている。また、同時に通信可能なピア数に制限を設けることで、システム全体の負荷を下げている。

まず、パラメータの影響について評価を行った後、各手法の平均再生途切れ時間と視聴中止端末数を示す。

③パラメータの影響

BIS 方式では優先セットのデータサイズと優先セットの選択確率によって再生途切れ時間が増える。そこで、優先セットのデータサイズ k Mbyte と優先セットの選択確率 p を変化させた場合の平均途切れ時間について、重み係数 $c=0.4, 0.8$ の結果をそれぞれ、図 2 と図 3 に示す。 k の最適値は、コンテンツ長や通信帯域、ピアの送信能力などのシステム環境に依存して変化する。ここで、本研究では最大通信帯域を、接続しているピアの数に等分割して通信するように想定しているため、使用可能な通信帯域は頻繁に変化する。幾つのピアと接続するかを事前に予測することが困難なため、使用可能な通信帯域を予測することも困難である。この他にも、セット内のピースを持つピア数や通信帯域の揺れといった要因も k の適切な値に影響するが、これらも予測不能である。以上のような理由からコンテンツ長やシステム環境に応じて、最適な k の値を解析的に求めることは困難である。そのため、評価では k の値を変化させて、与えられたシミュレーション環境における k の最適値を総当り的に調べた。なお、コンテンツ長やシステム環境が変わると、適切な k の値も変化するため、評価で得られた k の最適値の値そのものに絶対的な意味があるわけではない。

まず、優先セットのデータサイズ k Mbyte と重み係数 c の影響に関して(図の横軸方向)、図 2 より、 c が比較的小さい場合は、 $k < 6$ Mbyte において、 k が小さいほど平均途切れ時間が

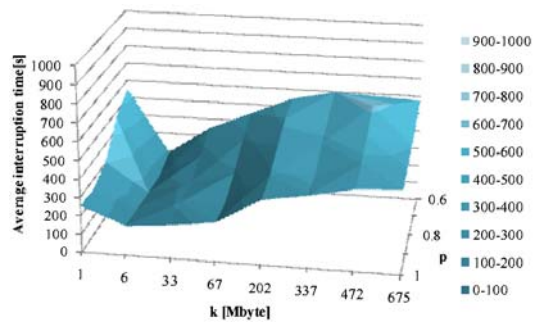


図 2: 重み係数 $c=0.4$ の場合の平均途切れ時間

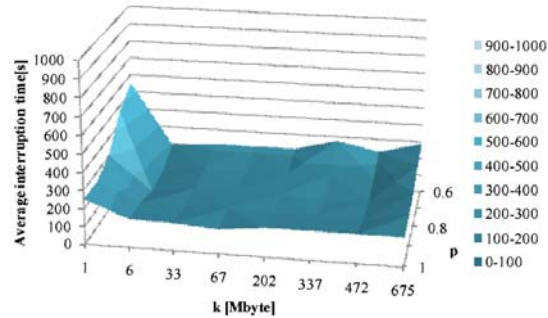


図 3: 重み係数 $c=0.8$ の場合の平均途切れ時間

短縮することが分かる。これは、 k が大きい場合、優先セット内のピースの数が多くなり、優先セットが選択された際、現在の再生位置からあまり必要としない、P2P ネットワーク内に存在する数が少ないピースを優先的に受信しようとするためである。一方、図 3 より、 c が比較的大きい場合、 $k > 6\text{Mbyte}$ において、 k が変化してもあまり平均途切れ時間が変化しないことが分かる。これは、再生位置に近いピースを順番に受信しようとするため、 k が大きい場合でも、選択されるピースの順番があまり変化しないためである。

次に、優先セットの選択確率 p と重み係数 c の影響に関して (図の縦軸方向) 考察する。図より、 p が 0.6 から大きくなると徐々に平均途切れ時間が短くなり、1.0 に近づくと増加することが分かる。これは、 p が大きくなると、優先セットが選択される確率が高くなり、再生位置に近いピースを受信できるためである。一方、1.0 に近くなると、低順位セットが選択されないため、コンテンツ後半のピースが P2P ネットワーク内に分散しない。その結果、特定のピースに受信要求が集中してしまい、平均途切れ時間が増加する。

④ 要求到着間隔の影響

ピアのコンテンツ視聴の要求到着間隔が変化すると、P2P ネットワーク内に存在するピア数が変化するため、P2P ネットワーク内のピースの数も変化し、視聴中止端末の割合も変化する。そこで、ピアの平均要求到着間隔を 1 秒から 60 秒まで変化した場合の視聴中止端末の割合、平均再生途切れ時間の結果

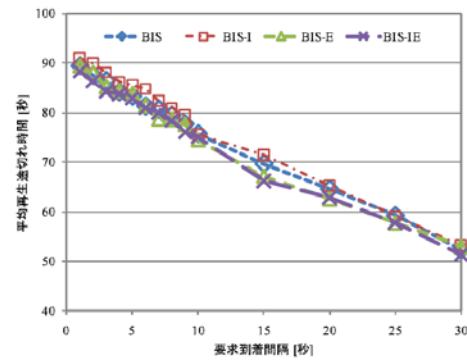


図 4: 平均要求到着間隔と平均途切れ時間

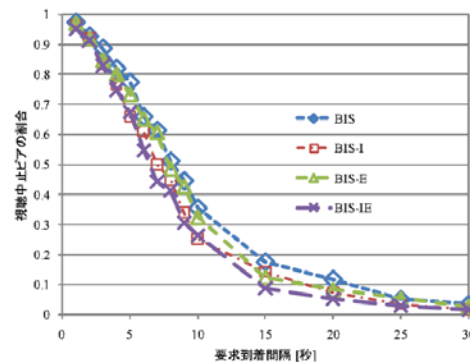


図 5: 平均要求到着間隔と視聴中止端末割合

を 図 4、図 5 に示す。

図 4 から、いずれの提案方式も BIS 方式よりも視聴中止ピアの割合が低くなることが分かる。これは、各ピアが自身の再生状況から、ピース選択の際に緊急性と希少性のどちらを重視するかを動的に決定しているためである。要求到着間隔が特に短い場合、P2P ネットワーク内に多くのピアが存在しピースの受信速度が低下しやすいため、BIS-I 方式を用いて緊急性を重視してピースを受信する方が視聴中止ピアの割合が低くなる。一方、要求到着間隔が長い場合、P2P ネットワーク内に存在するピア数が少なくピースの受信速度が速いため、BIS-E 方式を用いて余裕時間の長いピアが希少性を重視してピースを受信することで視聴中止ピアの割合を低減できる。

図 5 から、要求到着間隔に関わらず、BIS-I 方式は BIS-S 方式よりも平均再生途切れ時間が長く、BIS-E 方式と BIS-IE 方式は BIS 方式よりも平均再生途切れ時間が短くなる。これは、BIS-I 方式では緊急性を重視することで P2P ネットワーク内にピアが分散しにくく、他のピアの再生途切れ時間が増加するためである。一方、BIS-E 方式と BIS-IE 方式では、余裕時間の長いピアが希少性を重視してピースを受信するため、

他のピアの再生途切れ時間の増加を抑制できる。要求到着間隔が長い場合、P2P ネットワーク内に存在するピア数が少ないため、ピアの受信速度が速くなり再生途切れ時間が短くなる。また、視聴中止する再生途切れ時間を変えた評価も行ったが、同様の傾向が得られた。

4. 研究成果

端末伝送型インターネット放送において、コンテンツ再生中の途切れ時間を短縮するための分割データ受信方式を提案した。提案方式では、再生位置に近い分割データを優先しつつ、P2P ネットワーク内に存在する数が少ない分割データを拡散させることで、P2P ネットワーク内のユーザに対してコンテンツの再生途切れ時間を短縮する。シミュレーション実験より、既存手法と比較して再生途切れ時間を短縮でき、視聴中止端末数を削減できていることを確認した。

国内の論文誌や研究会で成果を発表する他、世界的に権威ある論文誌やWCNCといった大規模な国際会議で発表しており、研究成果を国内外に発信している。本研究に関連して賞も幾つか受賞しており、研究分野に大きなインパクトを与えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

- ① 坂下卓、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再生途切れ時間短縮方式、情報処理学会論文誌、Vol. 52、No. 3、pp. 1045-1054、2011年
- ② Yusuke Gotoh、Tomoki Yoshihisa、Hideo Taniguchi、Masanori Kanazawa、A Scheduling Method on Selective Contents Delivery with Node Relay-based Webcast Considering Data Size、International Journal of Research and Innovation (Advances in Information Sciences and Service Sciences)、Vol. 2、No. 3、pp. 128-138、2010年
- ③ 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中断時間短縮のためのストリーミング配信手法、情報処理学会論文誌、Vol. 51、No. 8、pp. 1402-1412、2010年
- ④ 後藤佑介、鈴木健太郎、義久智樹、谷口秀夫、金澤正憲、再生中断時間短縮のための端末伝送型インターネット放送システムの設計と実装、電子情報通信学会論文誌D、Vol. J93-D、No. 7、pp. 1102-1113、査読有、2010年
- ⑤ 義久智樹、西尾章治郎、端末伝送型インターネット放送における再生中断時間短縮手法、情報処理学会論文誌、Vol. 50、

No. 9、pp. 2340-2349、査読有、2009年
〔学会発表〕(計23件)

- ① Tomoki Yoshihisa、Shojiro Nishio、An Interruption Time Reduction Scheme with Prefetch for Hybrid Video Broadcasting Environments、IEEE Wireless Communications & Networking Conference (WCNC 2011)、2011年3月29日、Cancun Center (Quintana-roo, Mexico)
- ② Yusuke Gotoh、Tomoki Yoshihisa、Hideo Taniguchi、Masanori Kanazawa、A Method to Reduce Waiting Time for Continuous Media Data Broadcasting Considering Internet Advertisements、International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM 2010)、2010年11月9日、IUFM University Cergy-Pontoise (Paris, France)
- ③ Suguru Sakashita、Tomoki Yoshihisa、Takahiro Hara、Shojiro Nishio、A Data Reception Method to Reduce Interruption Time in P2P Streaming Environments、International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS 2010)、2010年9月15日、Hida Earth Wisdom Center (Takayama, Japan)
- ④ Yusuke Gotoh、Tomoki Yoshihisa、Hideo Taniguchi、Masanori Kanazawa、A Scheduling Method for Selective Contents Broadcasting with Node Relay-Based Webcast Considering User Behavior、International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM 2009)、2009年12月15日、Asia e-University (Kuala Lumpur, Malaysia)
- ⑤ Tomoki Yoshihisa、Shojiro Nishio、A Relay-based webcast System to Reduce Interruption Time、IEEE Pacific Rim Conference Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM 2009)、2009年8月26日、University of Victoria (Victoria, Canada)

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：00402743