

平成 21 年 2 月 28 日現在

研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19560395
 研究課題名（和文） P2Pによる事前ダウンロード型CDN実現へ向けた新しい通信方式の研究
 研究課題名（英文） A novel transmission protocol for contents delivery network with P2P-based pre-downloading
 研究代表者
 荒川 豊 (ARAKAWA YUTAKA)
 慶應義塾大学・大学院理工学研究科・助教
 研究者番号：30424203

研究成果の概要：近年、インターネットを介した映像配信が普及しつつある。インターネットを用いることにより、チャンネル数に縛られることなく、多くのコンテンツを配信できる。しかしながら、放送と異なり、今後利用者が増加するにつれ、ネットワーク帯域不足や輻輳やサーバへの負荷増大など種々の問題が出てくる。それに対して、P2Pやマルチキャストといった技術を組み合わせ、サーバへの負荷を軽減した新しい通信プロトコルを提案した。また、計算機シミュレーションにより性能評価を行い、提案の有効性を示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 通信・ネットワーク工学

キーワード：コンテンツ配信、P2P、マルチキャスト、負荷分散

1. 研究開始当初の背景

インターネットを介したコンテンツ配信は、チャンネル数に縛られることなく多種多様なコンテンツを配信できるロングテールモデルの代表として、YouTubeなどが多くの利用者を獲得している。当初は低画質であったが、近年のアクセス網高速化に伴い、年々高画質化が進んでいる。

高画質映像をストリーミング配信する場合、配信側の帯域やサーバ負荷が問題となるため、CDN (Contents Delivery Network) と呼ばれるコンテンツ配信専用のネットワークが構築されている。CDNでは、利用者

の増加に伴い、サーバを増設し、利用者からのアクセスを振り分けることにより、各サーバの負荷を軽減する。しかし、今後利用者数が増加の一途をたどった場合、サーバ増設の投資が困難となる可能性があることから、マルチキャストやP2P技術を使い、トラフィックを抑制する手法が必要となる。さらに、アプリケーションからのアプローチだけでなく、下位のレイヤ1、2と連携して、増大するトラフィックを効率よく収容する手法も重要である。

2. 研究の目的

近年、定額インターネットおよび HDD の低価格化がめざましい。そこで、我々は、今後高品位映像配信が普及するシナリオとして、リアルタイムなストリーミングやクリックしてダウンロードするこれまでの方式ではなく、学習したユーザ嗜好に基づいて自動的に HDD を備えた STB (Set Top Box) まで事前にダウンロードしておく置き薬型コンテンツ配信を提案する。

本方式は、ネットワークの空き帯域（例えば、夜間のトラヒックの少ない時間帯）を用いて、ユーザの嗜好に合わせたコンテンツを事前取得する。リアルタイム性を捨てることにより、回線速度の遅い利用者であっても、高品位映像を、ゆっくりではあるが受信することができる。さらに提案手法では、利用者側に蓄積されたコンテンツを P2P でつなぐことにより、配信サーバ負荷を軽減しつつ、コンテンツ配信速度を加速できると考えている。

これらを実現するために、最適なミラーサーバ選択手法や同時アクセス数に応じてマルチキャストを併用する方式、階層分割協調方式、下位レイヤとの連携手法などを提案し、計算機シミュレーションおよび実装により有効性を示すことが本研究の目的である。

3. 研究の方法

ここでは、主な研究成果として、(1)サーバクライアント協調型 P2P システム、(2)ユニキャスト・マルチキャスト切り替え配信システム、(3)下位レイヤ連携コンテンツ配信システム、(4)階層分割協調型コンテンツ配信システム、に関して説明する。

(1) サーバクライアント協調型 P2P システム

コンテンツ配信ネットワークでは、負荷分散手法が重要となる。従来の代表的な負荷分散手法として、DNS ラウンドロビンがある。DNS ラウンドロビンでは、あるドメインにアクセスしてきたユーザに対して、異なる IP アドレスを通知することにより、ユーザに意識させることなく、複数のサーバに負荷を分散することが可能である。しかしながら、必

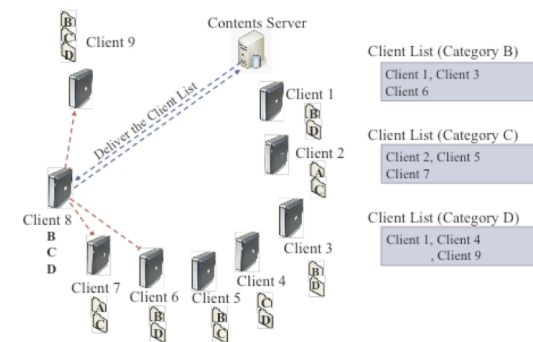


図1 ダウンロード先候補リスト配布

ずしもユーザにとって最適なサーバに転送されるとは限らない。そこで、我々は、アクセスしてきたユーザに、ダウンロード先の候補となるサーバリストを返し、ユーザ側から複数のサーバに対して、Ping を用いた遅延計測を行い、ユーザにとってより近いサーバに接続する負荷分散手法を提案する。さらに、サーバリストをサーバの負荷やアクセスしてきたユーザの IP アドレスに応じて変更する。このようにサーバとクライアントが協調し、両者にとって最適なサーバを割り当てることを目指す。

(2) ユニキャスト・マルチキャスト切り替え配信システム

ファイルサイズの大きな高品位映像を配信する場合、サーバ側の負荷を軽減するため、ミラーリングやプロキシキャッシングなどの手法が提案されている。しかしながら、ユーザ数が増加した場合、ネットワークの帯域がボトルネックとなる可能性がある。そこで、通常ユニキャスト通信ではなく、複数の宛先に対してマルチキャストすることで、ネットワーク負荷の低減が期待できる。マルチキャストは、ライブ配信のような同時接続人数の多いコンテンツほど有効であることから、提案方式では、単位時間のアクセス数に応じて、ユニキャストとマルチキャストを切り替える。また、ユニキャストとマルチキャストの中間の方式として、スケジュールドユニキャストという配送方式を提案し、同時接続数を維持しながら多くのユーザに対して、コンテンツ配信を行うことを目指す。

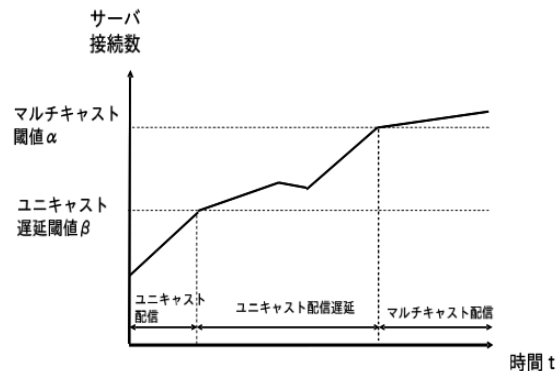


図2 提案方式の概要

基本的には、従来通りユニキャスト配信を行い、単位時間内の同時接続数が閾値を超えた場合、ダウンロード開始のタイミングを調整（遅延）させるスケジュールドユニキャストに切り替える。新規接続を遅延させ、単位時間当たりの接続数を維持することにより、すでにダウンロード中のユーザのダウンロード速度を維持することが可能となる。スケジュールドユニキャスト中に、さらにサーバ接続要求が減少した場合は再度ユニキャストに戻すが、増大した場合はマルチキャスト

へ切り替える。マルチキャストに切り替える際は、ある一定時間内の呼を1グループとする。

提案方式では、各方式の切り替える閾値の設定が重要となる。また、マルチキャストに切り替える場合は、呼の受付時間も重要なパラメータとなる。

そこで、計算機シミュレーションにより、遅延時間と呼の受付時間の関係、および配送方式切り替えの閾値について検討した。

(3) 下位レイヤ連携コンテンツ配信システム

今後、高品位映像のような巨大データがインターネットを介して、やりとりされる場合、ネットワークの負荷が急激に増大すると考えられる。近年、ネットワークの光化が進んでいるものの、ユーザトラヒックとは連動しておらず、P2Pやコンテンツ配信によるトラヒックをより高効率の収容する仕組みが急務である。

そこで、コンテンツ配信と連携してダイナミックに光パスを構築し、構築した光パスを用いてコンテンツを配信する下位レイヤ連携コンテンツ配信システムを提案する。

提案方式では、我々が従来開発したGMPLS(Generalized Multi Protocol Label Switching)対応のPLZT光スイッチを用いてネットワークを構築し、コンテンツ配信時にRSVP(Resource reSerVation Protocol)を用いて、経路上の光スイッチを制御し光パスを構築する。

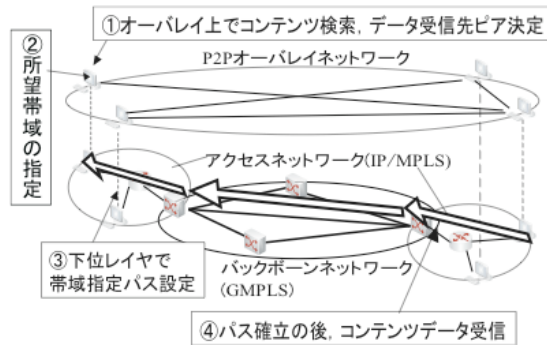


図3 提案P2Pアーキテクチャ

データ送信プロトコルは、我々が従来提案しているスロット交換方式を用いる。スロット交換は、光スロットと呼ばれる固定長の時間単位でデータ転送を行うプロトコルであり、光スロット交換と比較して制御が容易という利点がある。

本研究では、光ネットワークに関する既存研究とP2Pコンテンツ配信システムを融合させ、アプリケーションドリブンによるレイヤ1制御が可能であることを示した。

(4) 階層分割協調型コンテンツ配信システム

コンテンツ配信ネットワークでは、ミラーサーバを分散配置し、アクセスしてきたユーザを地理的に近いミラーサーバへ転送する負荷分散手法が一般的に用いられている。この方式は、効果が大きい一方で、ユーザ数の増大に対して、サーバ増設コストが大きいという問題がある。そこで、近年のアクセス網高速化を背景に、ユーザの上り帯域を活用したP2Pによる負荷分散手法の適用が考えられている。ネットワーク全体をP2Pで構築する完全P2P型のコンテンツ配信もいくつか提案されているが、セキュリティの観点から、ミラーサーバ間のミラーリングにのみP2Pを用いたSkeedcastなどが注目を集めている。しかしながら、今後のトラヒック増大に対処するためには、セキュリティを考慮しつつユーザもP2P網に参加させていく必要がある。

そこで我々は、ミラーサーバが集中管理し、そのミラーサーバにアクセスしてきたユーザでP2Pを構築する階層分割協調型コンテンツ配信システムを提案する。提案手法は、上述のSkeedcastとも併用が可能である。

本研究では、あるミラーサーバの同一コンテンツにアクセスしてきたコンテンツ要求ノードを一つのグループとして扱う。提案方式では、そのミラーサーバからすでにコンテンツを取得済みのノードを協調ノードとして稼働させ、P2Pを形成する。コンテンツ要求ノードに対して、協調ノードからデータを転送することにより、ミラーサーバへの負荷を軽減する。また、P2Pを用いるに当たり、サーバとして稼働する際の協調ノード負荷をできる限り低減するために、コンテンツを分割して、1ノード当たりの配信負荷を抑制する。最終的には、グループ内でそれぞれが取得したコンテンツを交換することにより、1つのコンテンツの完成を目指す。

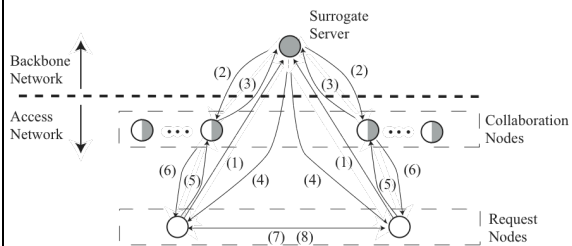


図4 提案プロトコル

図4に提案プロトコルを示す。(1)ある単位時間にN人のユーザ(Request Nodes)が同一コンテンツAを要求してきた場合、それを管理するミラーサーバ(Surrogate Server)は、(2)コンテンツAを取得済みのユーザM人に対して、協調ノードとしての稼働依頼を行う。依頼を受けたノードは、(3)自身の負荷を考慮して協調ノードとして動作可能か返信する。

そして、ミラーサーバは、(4)ユーザに対して、同時に接続してきた N 台の情報、了承を得たノード m 台(Collaboration Nodes)の情報、そして取得パートの情報を送信する。次に、各ユーザは、(5)(6)指定された協調ノードから、コンテンツの $1/(m*N)$ を取得する。さらに、(7)(8) N 人で、それぞれが保有する $1/(m*N)$ 分のデータを補完しあい、コンテンツを完成させる。

4. 研究成果

(1) サーバクライアント協調型 P2P システム

図 5 に最大接続数制限のみを考慮したものとプロトタイプシステムにおける、全クライアントがコンテンツのダウンロードを終了するまでの時間を示す。最大接続数を以下では C と表現する。

図 5 を見ると、プロトタイプシステムに比較して、最大接続数制限方式では、 C の値に関わらずダウンロード時間が改善されていることが分かる。プロトタイプシステムではコンテンツを要求するクライアント側のみによる RTT 計測でダウンロード先選択を行っており、P2P を導入しているにも関わらず常に RTT が最短のダウンロード先にアクセスが集中してしまい結果的にダウンロード遅延が増大していた。しかし、提案方式ではサーバ側で受け付け可能な最大接続数の制限を設け、RTT が最短であっても接続数でクライアントからのアクセスを制限し、RTT が 2 番目に短いダウンロード先へ、3 番目に短いダウンロード先へとリクエストを行い直す。このようにサーバと協調することにより、RTT が最短のダウンロード先へのアクセスの一極集中を回避することができることがわかった。

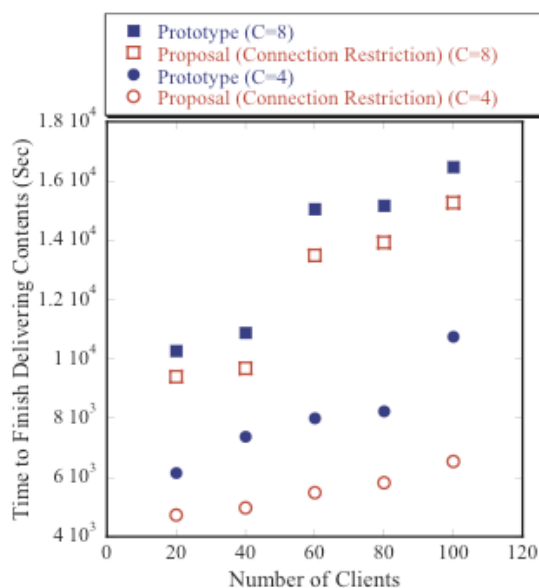


図 5 接続制限方式とプロトタイプの比較

(2) ユニキャスト・マルチキャスト切り替え配信システム

1 分当たりのアクセス人数(AN)を 1 ~ 10 人で変化させた場合のダウンロード時間について、図 6 に示す。

図より、ユニキャスト配信では AN の値が少ない場合はユニキャスト配信帯域を最大限活用できるためダウンロード時間を抑えられている。しかしアクセス人数が増加するほど同時接続数が急激に増加し、サーバの同時接続数が増加することによりダウンロード時間が大幅に増加している。

マルチキャスト配信では、AN の値が増加した場合でも、サーバの同時接続数が抑えられている。しかし、ユニキャスト配信よりマルチキャスト配信の方が使用可能帯域が小さいためダウンロード時間は利用可能帯域の問題から大きくなっている。

それに対して提案方式ではダウンロード時間においては AN の値が少ない場合、ユニキャスト配信およびユニキャスト遅延配信を利用することで、可能な限りユニキャスト配信を用いることでダウンロード時間を抑えている。AN の値が増加した場合は、マルチキャスト配信へ切り替えることで最大接続数を大幅に減少させると同時に、マルチキャスト配信間隔を設定し配信を遅らすことで、すでにユニキャスト配信しているユーザのダウンロード時間が改善されたことによりダウンロード時間の増加を抑えていることが読み取れる。

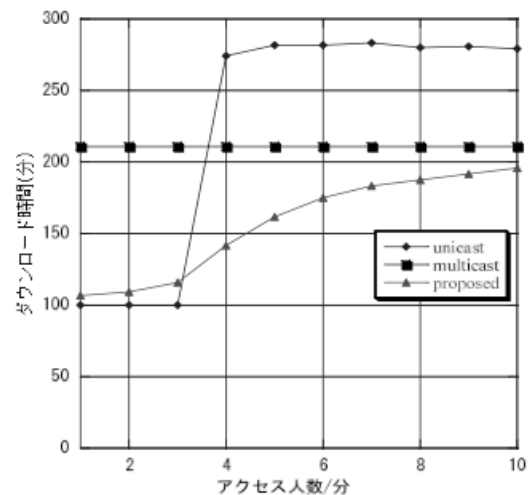


図 6 アクセス数に対するダウンロード時間

(3) 下位レイヤ連携コンテンツ配信システム

帯域指定パスを利用する効果を評価する。本評価では、所望帯域をネットワーク内の全ピアで共通の固定値とし、各所望帯域における帯域指定パスを利用して動作する P2P コンテンツ配信、および従来の最短距離を伝送する TCP/IP ネットワークにて動作する

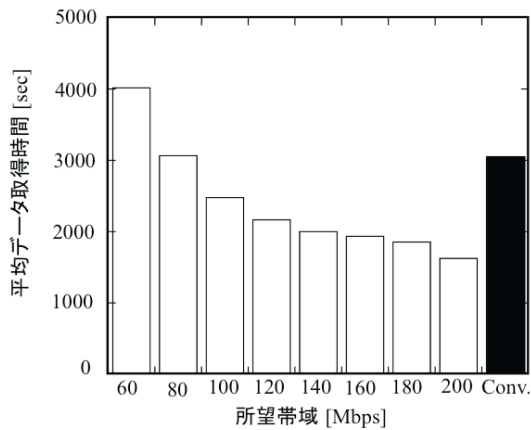


図7 所望帯域に対するデータ取得時間

P2P コンテンツ配信の性能比較を行う。図7に各所望帯域ごとのコンテンツ取得時の平均取得時間を示す。図より、本シミュレーション条件においては、所望帯域が80Mbps以下では平均データ取得時間が従来ネットワークを下回ってしまう。一方、所望帯域が100Mbpsを上回った場合、提案ネットワークの平均取得時間が従来ネットワークの平均取得時間を上回ることが可能である。しかし、100Mbpsを大きく上回る所望帯域を指定しても、平均取得時間の減少率は小さくなってしまふ。所望帯域の上昇に伴う平均取得時間の減少率の悪化は、過大な所望帯域を満たすパスを設定する際、下位レイヤネットワークにおける経路が最短経路よりも長くなり、TCP受信ウィンドウの影響を受けて実効帯域が低下するためであると考えられる。

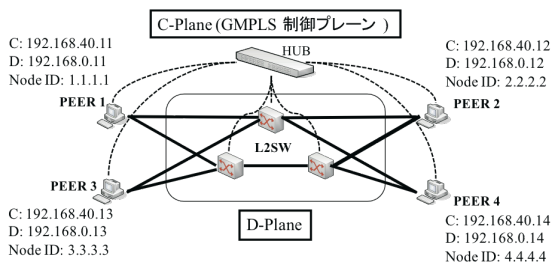


図8 実装ネットワーク構成



図9 コンテンツ配信実験

本研究室では、P2P アプリケーションと下位レイヤネットワークによる動的パス設定の連携を確認するため、提案方式の実装を行う。

図8に実装ネットワークの構成を示す。C-Plane(Control Plane:GMPLS 制御プレーン)とD-Plane(Data Plane: データ伝送プレーン)は物理的に分離しており、D-PlaneはL2SW(Layer-2 Switch)を用いて複数の経路を用意する。各ピアにはC-Plan用IPアドレス、D-Plane用IPアドレスおよびGMPLSパス設定用ノードIDを割り当てる。本実装では、提案ネットワークにおける動作のうち、所望帯域を指定した動的パス設定について確認した。今後は、所望帯域指定アルゴリズムを追加しての動作確認を行う予定である。また、これを用いてコンテンツ配信の実験も行った。(図9)

(4) 階層分割協調型コンテンツ配信システム

一分間当たりのアクセス人数(以降 AN と表記)を変化させた場合の平均ダウンロード時間およびサーバにおける平均同時接続数のグラフを図10に示す。比較方式として①ユニキャスト(コンテンツサーバから直接ダウンロード)、②P2P(サーバorコンテンツ所持ノードからダウンロード)、③提案方式(サーバorコンテンツ所持ノードから協調分割ダウンロード)を比較した。図よりユニキャストの場合、AN=6を超えた後に急激に同時接続数が増加し、それに伴いダウンロード時間が大幅に増加している。従って、コンテンツサーバが過負荷状態に陥っていること

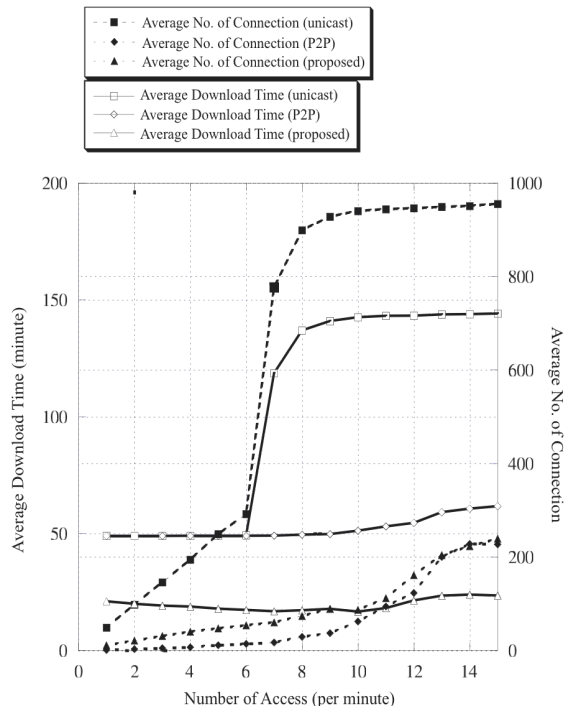


図10 所望帯域に対するデータ取得時間

が読み取れる。一方、P2P および提案方式ではノード間でコンテンツをやり取りすることでサーバへのリクエスト集中を回避し、ANの増加に対してダウンロード時間および平均接続数に関して大幅な増加は見られない。これより、急激なアクセス超過に対してもスケラビリティ性が高いといえる。

また、提案方式は他の2方式に比較しダウンロード時間を40%程度改善していることが読み取れる。これは要求ノードのアップロード帯域を有効的に活用することによりダウンロード速度向上が実現しているためである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① Yutaka Arakawa, Naoaki Yamanaka, QoS Differentiation Scheme with Multiple Burst Transmission and Virtual Resource Reservation for Optical Burst Switching Networks, Journal of Optical Networking, Vol. 6, Issue 8, pp.1003-1013, 2007, 査読有

[学会発表] (計8件)

- ① 荒川豊, GMPLSによる動的パス切り替えを利用した次世代P2Pネットワーク, 電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会, 2008年12月18日, 神戸大学
- ② 荒川豊, コンテンツ配信網におけるコンテンツサーバの負荷軽減のための階層型協調分割ダウンロード方式, 電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会, 2008年10月10日, 東京大学
- ③ Yutaka Arakawa, Efficient Contents Delivery Method with Scheduled Unicast and Multicast, APCC 2008, 2008年10月15日, 秋葉原
- ④ Yutaka Arakawa, Naoaki Yamanaka, P2P HD Contents Transport Network based on PLZT High-Speed Optical Slot Switching, PS 2008, 2008年8月5日, 北海道大学
- ⑤ 荒川豊, サーバークライアント協調型P2Pコンテンツ配信ネットワークシステムの検討および実装, 電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会, 2008年3月14日, 沖縄
- ⑥ Yutaka Arakawa, GMPLS-Based High-Speed Optical Slot Switching System Using PLZT Ultra-High Speed Optical Switch for HDTV Contents Delivery Network, OFC/NFOEC 2008, 2008年2月24日, サンディエゴ
- ⑦ 荒川豊, コンテンツ配信におけるスケジ

ューリング・マルチキャストの一検討, 電子情報通信学会情報ネットワーク研究会, 2008年2月14日, 高松

- ⑧ Yutaka Arakawa, Prefetching Protocol Proxy with Optimal Mirror Selection and Burst Transmission, OECC/I00C 2007, 2007年7月13日, 横浜

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荒川 豊 (ARAKAWA YUTAKA)

慶應義塾大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号: 30424203

(2) 研究分担者

山中 直明 (YAMANAKA NAOAKI)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号: 80383983

岡本 聡 (OKAMOTO SATORU)

慶應義塾大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号: 10449027

(3) 連携研究者

なし