

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02807

研究課題名(和文) P2P型ビデオストリーミング基盤のための理論的性能保証手法の研究

研究課題名(英文) Theoretical Performance Guarantee for P2P Video Streaming Infrastructures

研究代表者

藤田 聡 (Fujita, Satoshi)

広島大学・工学研究科・教授

研究者番号：40228995

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題で得られた成果は以下のようにまとめることができる：1) ピア支援型コンテンツ配信システム(PA-CDN)と通常のCDNの違いは中継ピアによるストリーム転送の有無であり、転送のホップ数が増えるほど配信能力(視聴者数)が増加するという特徴がある。本研究課題では、そのようなホップ数と配信能力のトレードオフの理論的な限界を明らかにした。2) 前項の結果を拡張し、フラッシュクラウドやクラウドサーバによる配信サポートの有無など、様々な現実的な状況における性能限界を明らかにした。3) ネットワークの混雑や中継ピアの離脱に伴う性能劣化を抑える手法を提案し、性能劣化期間の最小化を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来のPA-CDNに関する研究の多くは、実現可能な性能を理論的・実験的に示すタイプの上界に関するものがほとんどであり、本研究課題のように、性能の本質的な限界を解明していく下界に関する議論はなされていなかった。しかし下界に関する議論は、有限の研究資源をどこに投入すべきか(=どこに投入すべきではないか)を明確にし、より高機能なシステムの早期な実現に寄与するものである。またビデオストリーミング配信市場の急速な拡大に伴い、従来型のCDNのみによる配信の限界が指摘されてきており、この限界を打破する上で、PA-CDN技術そのものの重要性は今後ますます高まっていくものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The achievements of this project are summarized as follows: 1) The difference between a peer-assisted content delivery network (PA-CDN) and an ordinary CDN is the presence of stream forwarding by a relay peer, and it is known that the network capacity (i.e., the maximum number of viewers) increases as the number of forwarding peers increases. By this perspective, we clarify the theoretical limits of such trade-offs between the number of hops and delivery capabilities; 2) we extend theoretical results under stable situations to reveal performance limits in various realistic situations, such as with and without delivery support of cloud servers and the existence of flash crowd; 3) we propose a method to suppress the performance degradation due to network congestion and the leave of relay peers, and minimize the period of such a performance degradation.

研究分野：情報工学

キーワード：P2Pビデオ配信 理論限界 低遅延 マルチツリー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ここ数年、ビデオ配信サービスが急速に普及している。2015 年秋には Amazon プライムビデオと Netflix が VoD (Video on Demand) 型のビデオ配信サービスを日本国内で開始した。それらのビデオ配信サービスのほとんどは、Akamai や CloudFront などのコンテンツ配信ネットワーク (CDN) 経由で視聴者に届けられている。CDN の配信性能は世界中に分散配置されたサーバ群に依存しており、しかもそれらのサーバは、コンテンツ所有者との間のサービスレベル契約 (SLA) によって規定されるサービス品質を保証するよう設計されている。そのため CDN の増設には多大な投資が必要となり、スケールアップは容易ではない。その一方で最近の報告によると、インターネット上のオンライン活動の約 3 分の 1 がビデオの視聴に費やされており、Netflix だけでも毎月 10 億時間分以上のビデオストリーミングがなされている (これはデータ量的にはほぼ 720 万テラバイトに相当する)。また現在の主流は HD コオリティでのビデオ配信であるが、今後数年のうちに 4K あるいは 8K コオリティでの配信へと移行していく可能性もある。

2. 研究の目的

今後予想されるビデオ配信量の急増に対して CDN のみを使って対応するという伝統的な手法には限界があり、その根本的な解決策が強く求められている。その中で特に注目を集めているのが、視聴用に使われている端末の処理能力を補助的に利用して配信を行うピア支援型コンテンツ配信ネットワーク (PA-CDN) である。本研究の目的は、PA-CDN のための高精度な性能保証手法を開発することである。従来の PA-CDN に関する研究の多くは、「この方法を使えばこのくらいの性能が出せる」という形の上界に関するものが多く、性能の本質的な限界を解明していく下界に関する議論はほとんどなされていなかったが、本研究では下界に関する議論を中心に進めていく。下界の議論は、有限の研究資源をどこに投入すべきか (= どこに投入すべきではないか) を明確にし、より高機能なシステムの早期な実現に寄与するものである。

3. 研究の方法

具体的には、チャーン耐性やインセンティブの強さなど、分散型のビデオストリーミング基盤として求められる様々な性質に応じた P2P システムのモデル化と適切な評価尺度の設計をした上で、ビデオストリーミング基盤としての性能をどこまで向上できるかという理論限界を明らかにする。得られた理論限界の精密さは、限界をタイトに達成する分散型ストリーミング方式を新たに開発することで数学的に実証する。また提案する性能保証手法そのものの妥当性は、開発した分散型ストリーミング方式を現実のネットワーク上に実装し、測定結果とモデル上の動作を詳細に比較することで検証する。

4. 研究成果

本研究で得られた成果は以下のようにまとめることができる：

1. PA-CDN と通常の CDN の違いは中継ピアによるストリーム転送の有無であり、転送のホップ数が増えるほど配信能力 (視聴者数) が増加するという特徴がある。本研究課題では、そのようなホップ数と配信能力のトレードオフの理論的な限界を明らかにした。
2. 前項の結果を拡張し、フラッシュクラウドやクラウドサーバによる配信サポートの有無など、様々な現実的な状況における性能限界を明らかにした。
3. ネットワークの混雑や中継ピアの離脱に伴う性能劣化を抑える手法を提案し、性能劣化期間の最小化を行った。

ビデオストリームには動画品質に応じたビットレートがあり (例えば 4K 動画の場合、68Mbps 以上が推奨値)、各ノードのアップロード容量も一定値に制限されている (例えばフレッツ光などでは回線ごとに 1Gbps まで)。したがってビデオストリームを P2P 技術を使って普通に配信した場合、各ノードが持つことのできる子ノードの数 (出次数) が制限されることになり、指定された視聴ノード集合にビデオを配信するためには、次数制約付き全域木 (もしくは次数制約付きシュタイナ木) を構成することになる (WebRTC などのビデオストリーミングのための既存ライブラリには環境に合わせたビットレートの自動調整機能があるため、次数制約は実際にはそれほど強くない)。その場合の評価のメトリックとしては、視聴ノードまでの転送回数、すなわち配信木の深さを考えるのが適切である。なぜならば PA-CDN に特徴的な性質はノードによる転送であり、転送回数の増加はそれだけでビデオの質の低下につながる可能性を生むからである。本研究課題ではそのようなツリー型配信の中でも特に、Splitstream というシステムで提案された、与えられたビデオストリームを複数のサブストリームに分割して配信するというモデルを考える (その結果、各ノードの容量制約の範囲内で、サブストリームごと独立に全域木を構成する問題を考えることになる)。サブストリームへの分割については、Multiple Description Coding などの既存手法を使うことを想定する。

(1) 定常状態における PA-CDN による配信

最初に次のような問題を考える：

a 個のサブストリームに分割されたビデオストリームを n 台のノードに配信したいとする。各ノードのアップロード容量が均一であると仮定したとき、各サブストリームを高々1回の転送ですべてのノードに配信するのに必要十分なアップロード容量を a と n の関数で表現せよ。

考察の結果、 a と n の組み合わせによっては、 a 個のサブストリームを同時に送信できるだけの容量で必要十分であるが、特定の組み合わせのもとでは a では不十分で、一定の追加分が必要十分であることが明らかになった(発表論文[1])。転送回数に制限をつけず、チェーン状に転送を行う場合の容量の自明な上界が a であることから、この追加分が、P2P 配信のもとでビデオの品質を維持するために必要なコストであると考えられる。

次に、この結果の単純な拡張として、最大転送回数を 1 から一般の k に拡張した場合の考察を行った(発表論文[2])。その結果、マルチツリー型ビデオ配信における転送ホップ数の自明な下界値が(ほぼ)達成できることが明らかとなった。ここで「ほぼ」と言うのは、得られた上界と自明な下界のギャップが高々1であり、もし改良できるとしても1ホップ減らせるかどうかの水準まで迫って来ていることを意味している(自明な下界がタイトになるケースとそうならないケースについてはある程度解明したが、不明なケースも残されている)。結果の詳細は以下の通りである：与えられたビデオストリームが a 個の均一なサブストリームに分割されており、各ピアのアップロード容量が、 a 個のストライプを他のピアに転送できるだけの(ギリギリの)大きさであると仮定する。このとき、一つのストライプをサーバから k ($k \geq 3$) ホップ以内に受け取ることのできる最大のピア数は、等比級数を用いて $1+a+a^2+\dots+a^{k-1}$ のようにあらわすことができる(完全 a 分木を考えれば良い)。簡単のため、この値を B_k とあらわすことにしよう。視聴者数 N が $N > B_k$ を満たすとき、すべての視聴者がストライプを k ホップ以内に受け取ることは不可能である。一方、

1. $N \leq B_k$ であっても k ホップ配信が不可能なケースがある(自明な下界である「 k ホップ」はタイトではない)が、
2. 任意の $N \leq B_k$ に対して、 $k+1$ ホップ配信は常に可能である(上界とのギャップは高々1である)

上記の結果のさらなる拡張として、固有のビットレートを持つ複数のビデオストリームを、それぞれの視聴者グループに向けて個別に配信する問題について考察した(発表論文[3])。基本アイデアは、論文[1][2]と同様、与えられたビデオストリームを複数のサブストリームに分けて配信することなのであるが、この論文では特に、動画品質の(質的な)違いをサブストリーム数の(量的な)違いに転嫁することでストリーム間の負荷分散も図っている。各サブストリームは高さの制限された「コアツリー」と呼ばれる均一なオーバーレイを使って配信される。コアツリーのルート(root)にはメディアサーバから直接サブストリームが送られ、ルートに送られたサブストリームは、高々ツリーの高さ分の転送を繰り返して葉ノードに到達する(ホップ数を制限することでレイテンシの増加を抑えている)。ツリーの次数は、各ピアのアップロード容量から決まる値である(論文では説明をわかりやすくするため容量を均一と仮定している)。各視聴者は自分が視聴するビデオストリームから生成されたサブストリームを配信するコアツリーに(視聴者・転送者として)参加すると同時に、もし容量に余力があれば、他のストリームに関するコアツリーにもヘルパーとして参加することができる。

この手法によって、ピアの参加や離脱に伴うオーバーレイの更新処理を見通しよく与えることが可能になった。新規ピアが参加するコアツリー群の選択は、リクエストを最初に受け取るメディアサーバによって集中的にコントロールされる必要があるが、そのあとのオーバーレイの更新手続きは、各コアツリーに最近参加したピアのみによって分散的に実行可能である。ただしこの方法には弱点もあって、ピアの参加・離脱が頻繁に起こる状況では更新のオーバーヘッドのため性能が大きく低下する恐れがある。この点については、次節で述べる結果でカバーされている。

(2) いくつかの拡張

本研究課題では、上記に加えていくつかの拡張を行った。

最初に PA-CDN におけるメディアサーバ(CDNのエッジサーバ)の配信負荷が、P2P 支援の併用によってどの程度下がるのかを理論的に明らかにした(発表論文[4])。結果の概要は以下の通りである：与えられたビデオストリームが a 個の均一なサブストリームに分割されており、各ピアのアップロード容量が、 a 個のサブストリームを他のピアに転送できるだけの(ギリギリの)大きさであると仮定する。このとき、サーバの容量が N/a 以上あれば、 N 台のピアに a 個のサブスト

リームを2ホップ以内に届けることができる。1ホップ配信に必要なエッジサーバのアップロード負荷は自明にN以上なので、1)サブストリームへの分割と、2)配信ホップ数の(1ホップから2ホップへの)緩和を許すことによって、サーバコストはa分の1へと劇的に下がることになる。数値例として56Mbpsでエンコードされている4K動画の配信を考えてみると、上記の結果が意味するのは、200名の視聴者に1ホップで配信するときのエッジサーバのアップロード負荷が1.12Gbpsとなるのに対し、32個のストライプに分割して2ホップで配信する際の負荷は(オーバーヘッドを無視すれば)350Mbpsにまで減らせると言うことである。なお、上述の各ピアのアップロード容量が「均一にaである」という強い仮定のもとで得られた上記の結果は、「平均でaである」という弱い仮定のもとでの結果に拡張できる。具体的には、そのように仮定を弱めた場合にも、サーバコストは高々 $3N/a$ で抑えられることが証明されている。

次にCDNのフラッシュクラウド問題について考察した(発表論文[5])。フラッシュクラウドとは、CDNのエッジサーバに対して多数の配信要求が集中したときに発生する一時的な性能劣化現象のことであり、論文では、性能劣化期間を最小化するようなP2P支援手法の提案を行なっている。一般にP2Pシステムにおけるアップロード容量とダウンロード要求は、参加ピア数に比例して増加することが知られている。したがって、もし各参加ピアが自分が受けたのと同様以上のサービスを他ピアに与えるようにシステム全体をうまく構成できれば、(BitTorrentのように)外部からわずかなサービスを与えてやるだけで、システム内にサービスが溢れた状況を作り出すことができる。ただしビデオストリーミングの場合、ダウンロードとして参加したピアがアップロードとして機能するようになるまでには一定の時間が必要であり、この部分の遅延が、フラッシュクラウド発生時の性能劣化の原因となる。もちろんアップロード容量は少しずつ追いついてくるため配信性能はしばらく経てば回復するが、ユーザビリティを保つには、性能劣化期間は短い方が望ましい。この論文では、ダウンロードがアップロードになるまでの遅延時間を短縮する手法を提案している。具体的には、到着する配信要求の数に応じて動的に成長するオーバーレイ構造(フラッシュクラウドアブソーバー。以下、FCAと略記)を用意し、このオーバーレイでフラッシュクラウドを適宜吸収するというアプローチをとっている。ここでFCAの成長は、メディアサーバ、もしくはその代理サーバによって集中的に管理される。FCAの具体的な形状は、各ピアのアップロード容量とその時点での参加ピア数によって決まるが、任意の時刻において、その時点の参加ピア数への(ほぼ)最小の転送回数でのチャンクストリーム配信がなされるように設計されている。またこの手法で作られるオーバーレイ(FCA)はあくまでも緊急避難的なものであり、実用的には、ダウンロード要求の増加がある程度落ち着いた時点で定常的なオーバーレイに移行することを想定している。また転送回数の最小化に拘らなければ(すなわち理論限界でのトレードオフを考えないのであれば)、配信方法はずっと簡単になる。

本研究課題では上述のマルチツリー型モデルの他に、チャンクのストリームを最小の時間(MBT)でブロードキャストする問題についても考察した(発表論文[6])。この問題は、メッシュ型PA-CDN上でストリームの配信をチャンクレベルで細かく制御する状況に対応している(ツリー型配信ではチャンクの流れはサブストリームごとに固定されているが、メッシュ型配信では、ストリーム中で連続する二つのチャンクが異なる経路で配信されることがありうる)。各ノードが単位時間あたり一つのチャンクを他のノードに向けてアップロードできるような状況下で単一のチャンクを最短時間でブロードキャストする方法は、二項ツリー(binomial tree)と呼ばれるオーバーレイ構造に沿ってチャンクを配信することであり、この方法を使ったときのブロードキャスト時間は、ノード数をNに対して $\log N$ となることが知られている。しかし二項ツリーの根に近いノードは、チャンクを受け取ってからそのチャンクのブロードキャストを完了するまでの間、自身のアップロード帯域をそのチャンクのために使い続けなくてはならないため、同一のオーバーレイにチャンクのストリームを流すと、チャンクの衝突のため大きな遅延が発生してしまう。この論文では、ノードのアップロード容量が均一ではない(ヘテロな)ネットワークを想定し、そのようなチャンクストリームのブロードキャスト時間を最小化する手法を提案している。提案方式のアイデアは、大容量ノードをツリーの上流に配置し、そのアップロード容量を有効に利用することである。シミュレーションの結果、この手法はブロードキャスト時間の理論的な下限をほぼ達成することが明らかになった。

(3) 一時的な帯域幅減少に対して耐性のあるツリー状オーバーレイ

本研究課題では、定常状態以外での性能限界についても考察を行った。

PA-CDNの弱点の一つは、アップロードの一部を担う中継ノードが高い処理能力を有するマシンとは限らないため、ノードから出力されるストリームの流れが一時的に停止したり不安定になったりすることである。この問題に対する単純な解決法は、そのノードがシステムから完全に離脱したとみなしてオーバーレイの再構築を行うことであるが、帯域が不安定になる期間が短いときには、この方法は逆に復旧までの時間を長くしてしまう可能性がある。この点を解決するため、PA-CDNのためのツリー構造のP2Pオーバーレイを、ノードのアップロード容量の時間的な減少に対してレジリエントになるように構成する手法を提案した(発表論文[7])。提案手法の基

本的な考え方は,

1. ツリー構造のオーバーレイに冗長性を導入し,各ノードのアップロード容量の一部を兄弟ノードへの接続に利用すること(その分,下流への配信に使うことのできる帯域が少なくなり,ツリーの高さが増える可能性があることに注意)
2. 兄弟ノードへの接続リンクを利用して兄弟ノードへのビデオストリームの転送を行うこと(親からのストリームが途絶えたときにも兄弟から受け取れるように準備しておく)

の二点である.具体的には,あるノードの子の最大数が m から $m-k$ へと一時的に減少しても,提案手法を用いることで, $m-k \geq m/2^x$ を満たす最小の整数である x で,最大 2^x ホップで m 個の子ノードへのビデオストリームの転送を継続することができることが明らかになった.また前述のように,そのような冗長性の導入によってツリーの高さが増える可能性があるが,この論文では,高さの増加が定数で抑えられるための十分条件も併せて導出している.この十分条件により,例えば各ノードがオーバーレイ内に少なくとも 6 個の子ノードを持つことができるケースでは,オーバーレイ内のノード数が 9331 以下であれば,提案手法によるレイテンシの増加が高々1 ホップで抑えられることが明らかになった.

ジャーナル論文(本文中で引用)

[1] Hironori Ando, Satoshi Fujita: Tight Bounds on the Upload Capacity to Enable Two-Hop Delivery in Peer-to-Peer Video Streaming Systems. International Journal of Foundations of Computer Science, 31(3): 341-354 (2020).

[2] Satoshi Fujita: Multi-Tree-Based Peer-to-Peer Video Streaming with a Guaranteed Latency. IEICE Transactions on Information and Systems, 102-D(9): 1707-1714 (2019).

[3] Satoshi Fujita: Peer-to-Peer Video Streaming of Non-Uniform Bitrate with Guaranteed Delivery Hops. IEICE Transactions on Information and Systems, 102-D(11): 2176-2183 (2019).

[4] Satoshi Fujita: Cloud-Assisted Peer-to-Peer Video Streaming with Minimum Latency. IEICE Transactions on Information and Systems, 102-D(2): 239-246 (2019).

[5] Satoshi Fujita: Flash Crowd Absorber for P2P Video Streaming. IEICE Transactions on Information and Systems, 102-D(2): 261-268 (2019).

[6] Satoshi Fujita: Broadcasting a Stream of Chunks in Heterogeneous Networks with a Short Maximum Broadcast Time. Journal of Interconnection Networks 18(2-3): 1850007:1-1850007:16 (2018).

[7] Satoshi Fujita: Resilient Tree-Based Video Streaming with a Guaranteed Latency. Journal of Interconnection Networks 19(4): 1950009:1-1950009:20 (2019).

[8] Satoshi Fujita: Three-Tier Delaunay Network as a Topology for Peer-to-Peer Overlay. Journal of Interconnection Networks 19(4): 1950010:1-1950010:16 (2019).

[9] Naoki Takeuchi, Satoshi Fujita: Semi-Deterministic Construction of Scale-Free Networks with Designated Parameters. Journal of Interconnection Networks 18(1): 1850001:1-1850001:18 (2018).

[10] Bahaa Aldeen Alghazawy, Satoshi Fujita: Low Cost Cloud-Assisted Peer to Peer Live Streaming. TIIS 10(4): 1732-1750 (2016).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Satoshi Fujita	4. 巻 102-D(2)
2. 論文標題 Cloud-Assisted Peer-to-Peer Video Streaming with Minimum Latency	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information & Systems	6. 最初と最後の頁 239-246
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） DOI: https://doi.org/10.1587/transinf.2018EDP7229	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Satoshi Fujita	4. 巻 102-D(2)
2. 論文標題 Flash Crowd Absorber for P2P Video Streaming	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information & Systems	6. 最初と最後の頁 261-268
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1587/transinf.2018EDP7238	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Naoki Takeuchi, Satoshi Fujita	4. 巻 18(1)
2. 論文標題 Semi-Deterministic Construction of Scale-Free Networks with Designated Parameters	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Interconnection Networks	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1142/S0219265918500019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Satoshi Fujita	4. 巻 18(2-3)
2. 論文標題 Broadcasting a Stream of Chunks in Heterogeneous Networks with a Short Maximum Broadcast Time	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Interconnection Networks	6. 最初と最後の頁 1850007
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1142/S021926591850007X	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Guanshen Fang, Sayaka Kamei, and Satoshi Fujita	4. 巻 8
2. 論文標題 A Japanese Tourism Recommender System with Automatic Generation of Seasonal Feature Vectors	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Advanced Computer Science and Applications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Guanshen Fang, Sayaka Kamei, and Satoshi Fujita	4. 巻 8
2. 論文標題 Rating Prediction with Topic Gradient Descent Method for Matrix Factorization in Recommendation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Advanced Computer Science and Applications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Satoshi Fujita	4. 巻 27
2. 論文標題 On the Power of Lookahead in Greedy Scheme for Finding a Minimum Cds for Unit Disk Graphs	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 International Journal of Foundations of Computer Science	6. 最初と最後の頁 829-843
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Bahaa Aldeen Alghazawy and Satoshi Fujita	4. 巻 10
2. 論文標題 Low Cost Cloud-Assisted Peer to Peer Live Streaming	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 KSII Transactions on Internet and Information Systems	6. 最初と最後の頁 1732-1750
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hironori Ando, Satoshi Fujita	4. 巻 31(3)
2. 論文標題 Tight Bounds on the Upload Capacity to Enable Two-Hop Delivery in Peer-to-Peer Video Streaming Systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Foundations of Computer Science	6. 最初と最後の頁 341-354
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1142/S0129054120500124	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Satoshi Fujita	4. 巻 102-D(9)
2. 論文標題 Multi-Tree-Based Peer-to-Peer Video Streaming with a Guaranteed Latency	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1707-1714
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1587/transinf.2018EDP7408	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Satoshi Fujita	4. 巻 102-D(11)
2. 論文標題 Peer-to-Peer Video Streaming of Non-Uniform Bitrate with Guaranteed Delivery Hops	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 2176-2183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1587/transinf.2019EDP7088	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Satoshi Fujita	4. 巻 19(4)
2. 論文標題 Resilient Tree-Based Video Streaming with a Guaranteed Latency	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Interconnection Networks	6. 最初と最後の頁 9:1-9:20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1142/S0219265919500099	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Satoshi Fujita	4. 巻 19(4)
2. 論文標題 Three-Tier Delaunay Network as a Topology for Peer-to-Peer Overlay	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Interconnection Networks	6. 最初と最後の頁 10:1-10:16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1142/S0219265919500105	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計36件(うち招待講演 0件/うち国際学会 23件)

1. 発表者名 Satoshi Fujita
2. 発表標題 Resilient Peer-to-Peer Video Streaming with a Guaranteed Latency
3. 学会等名 CANDAR 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoshi Fujita
2. 発表標題 Acquiring Nearly Optimal Peer Selection Strategy through Deep Q-Network
3. 学会等名 CANDAR 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoshi Fujita
2. 発表標題 Load Balancing in P2P Video Streaming Systems with Service Differentiation
3. 学会等名 CANDAR 2018 Workshops (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoshi Fujita
2. 発表標題 On the Cost of Cloud-Assistance in Tree-Structured P2P Live Streaming
3. 学会等名 IPDPS 2018 Workshops (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoshi Fujita
2. 発表標題 Reliability Calculation of P2P Streaming Systems with Bottleneck Links
3. 学会等名 IPDPS Workshops 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Bahaa Aldeen Alghazawy
2. 発表標題 Batch-based flash crowd relaxation in cloud-assisted P2P live streaming
3. 学会等名 SNPD (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takuya Shoji
2. 発表標題 Tight Lower Bounds on the Maximum Number of Hops in P2P Video Streaming through Multiple Spanning Trees
3. 学会等名 CANDAR (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Satoshi Fujita
2. 発表標題 Effective Suppression of False Rumors in Social Network Service
3. 学会等名 CANDAR (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Satoshi Fujita
2. 発表標題 Hierarchical Delaunay Network for Peer-to-Peer Overlay with Address Hashing
3. 学会等名 PDCAT (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 安藤啓紀
2. 発表標題 クラウドアシストP2P環境で2ホップビデオ配信を実現する最小アップロード帯域
3. 学会等名 電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山田悠太
2. 発表標題 ユーザの視聴権限を設定可能なP2P型ビデオストリーミングのための負荷分散方式
3. 学会等名 電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 國廣拓也
2. 発表標題 BLE デバイスを用いたリアルタイムなユーザ追跡システム
3. 学会等名 情報処理学会第80回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村日向子
2. 発表標題 WebRTC を利用したライブ動画配信システム
3. 学会等名 情報処理学会第80回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 深見航太
2. 発表標題 再生途切れ抑制機能を備えた P2P ライブストリーミング
3. 学会等名 情報処理学会第80回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 富永菜都美
2. 発表標題 クラウド支援型 P2P ライブストリーミングにおけるバッチ制御手法の提案と評価
3. 学会等名 情報処理学会第80回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 内藤世啓
2. 発表標題 BitTorrent 型並列ダウンロードシステムにおける機械学習を用いた効率的な利得の獲得方法
3. 学会等名 情報処理学会第80回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河上真之
2. 発表標題 Wi-Fi Direct 技術を用いたアドホックソーシャルネットワークの実装
3. 学会等名 情報処理学会第80回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koji Nakano
2. 発表標題 Deterministic Construction of Regular Geometric Graphs with Short Average Distance and Limited Edge Length
3. 学会等名 International Conference on Algorithms and Architectures for Parallel Processing (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Satoshi fujita
2. 発表標題 Reliability Calculation of P2p Streaming Systems with Bottleneck Links
3. 学会等名 22nd IEEE Workshop on Dependable Parallel, Distributed and Network-Centric Systems (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hironori Ando
2. 発表標題 Tight Bounds for Two-Hop Delivery in Homogeneous P2p Video Streaming Systems
3. 学会等名 4th International Symposium on Computing and Networking (CANDAR) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Naoki Takeuchi
2. 発表標題 Deterministic Construction of Artificial Scale-Free Networks with Designated Maximum Degree
3. 学会等名 9th International Workshop on Autonomous Self-Organizing Networks (ASON) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kouhei Ootani
2. 発表標題 Polling-Based P2p File Sharing with High Success Rate and Low Communication Cost
3. 学会等名 9th International Workshop on Autonomous Self-Organizing Networks (ASON) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Martin Thodi
2. 発表標題 Collaborative Development Environment in Peer-To-Peer Networks
3. 学会等名 8th International Workshop on Parallel and Distributed Algorithms and Applications (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Ikki Fujiwara
2. 発表標題 Randomly Optimized Grid Graph for Low-Latency Interconnection Networks
3. 学会等名 International Conference on Parallel Processing (ICPP) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Satoshi Fujita
2. 発表標題 Collaborative P2p Painting on a Shared Canvas
3. 学会等名 19th IEEE International Conference on Computational Science and Engineering (CSE 2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Satoshi Fujita
2. 発表標題 Indoor Positioning Based on the Ibeacon Framework with Gaussian Weight Functions
3. 学会等名 19th IEEE International Conference on Computational Science and Engineering (CSE 2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Satoshi Fujita
2. 発表標題 Cost-Effective Index Poisoning Scheme for P2p File Sharing Systems
3. 学会等名 15th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 庄司 拓矢
2. 発表標題 P2Pビデオストリーミングの2ホップ配信におけるLNCの効果について
3. 学会等名 第79回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 久富 淳史
2. 発表標題 繰り返しなされるDoS攻撃への防御機能を備えたマルチツリー型ビデオストリーム配信手法
3. 学会等名 第79回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山田 悠太
2. 発表標題 レイヤー化されたビデオストリームのP2P配信手法
3. 学会等名 第79回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 木村 友彦
2. 発表標題 WebRTCを用いたツインビュー型P2Pビデオ会議システム
3. 学会等名 第79回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 安藤 啓紀
2. 発表標題 P2P環境で2ホップビデオ配信を実現する最小アップロード帯域
3. 学会等名 平成28年度(第67回)電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tsuyoshi Yoshihara
2. 発表標題 Fog-Assisted Virtual Reality MMOG with Ultra Low Latency
3. 学会等名 CANDAR 2019(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shogo Inoue
2. 発表標題 Collaborative Illustrator with Android Tablets
3. 学会等名 CANDAR 2019 Workshops(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masayuki Kawakami
2. 発表標題 Live Streaming over Wi-Fi Direct Multi-Groups
3. 学会等名 CANDAR 2019 workshops(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nawras Khudhur
2. 発表標題 Siva-- The IPFS Search Engine
3. 学会等名 CANDAR 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----