

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：82636

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00146

研究課題名(和文)大規模データ収集のための自律型エッジデバイス

研究課題名(英文)Autonomous Edge Device for Large-Scale Data Collection

研究代表者

寺西 裕一(Teranishi, Yuuichi)

国立研究開発法人情報通信研究機構・ネットワークシステム研究所ネットワーク基盤研究室・研究マネージャー

研究者番号：30403009

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、ネットワーク接続された多数のエッジデバイスが持つセンサーデータを収集する際、データの収集先において生じるネットワークの輻そう状態を軽減させる方式の確立を目指すものである。本研究期間中に、エッジデバイスが協調動作して構造化オーバレイネットワークを構成し、データ収集で生じるネットワーク負荷をエッジ間のデータの蓄積転送によって分散させるアルゴリズム、ならびに、重要度が高いデータを優先して送信することで、データ送受信量を削減し、最低限必要となるデータを取りこぼさず収集可能とする方法を提案した。また、提案方式のプロトタイプをエッジデバイスにRaspberry Piを用いて実装した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、大規模データ収集を行うネットワーク基盤を実現するエッジデバイス技術を確立するものであり、ビッグデータアプリケーションの進展において不可欠な技術要素となるものである。提案方式は、自律分散的にデバイス同士が構造化オーバレイネットワークを構成し、ネットワークプロセスが過負荷状態とならないよう、負荷を平準化しながら、また、データ量を圧縮・削減する処理を実行しながら必要なデータを収集する。開発成果はオープンソースとして公開し広く利用可能とするものであり、大規模データ収集におけるコストを大幅に下げ得る手段として産業的にも新たな応用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：This study aims to establish a scheme to reduce the network congestion status, which arises in the destination of the large-scale data collection. The scheme assumes a large number of sensor data is generated by edge devices that connect to the network. During this study, we proposed an algorithm of store-and-forward data forwarding scheme for distributing the network process load and a method to transmit data without errors by reducing the amount of data by prioritizing the minimized necessary data. In addition, the prototype of the proposed system was implemented on Raspberry Pi as an edge device.

研究分野：分散コンピューティング

キーワード：オーバレイネットワーク 大規模データ収集 エッジコンピューティング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

人々の身の回りに存在するモノ(センサー、ロボット、クルマ等)がネットワーク接続することで新たな ICT サービスを実現する IoT(Internet of Things)に対する注目が集まっている。IoT のアプリケーションのうち、とくに、広域に分散配置された膨大な数のセンサーからセンサーデータをインターネット経由で収集し、分析・解析を行うことで異常の察知や近未来の予測等を行ういわゆるビッグデータアプリケーションに対する期待は大きい。

膨大な数のセンサーが、データを保存するクラウド上のデータベースへアップロードする場合、単位時間あたりのアップロード回数およびネットワークトラフィック量が課題となる。一般に、ネットワークの送受信処理を行うネットワークプロセスの負荷は、単位時間あたりに処理するアップロードリクエストメッセージ数に比例する。これは、ヘッダの付加・除去やペイロードデータのバイト列変換処理等がメッセージ毎に必要となるためである。また、時間的・空間的に密度が高い観測対象を持つセンサーデータ(例えば、映像データや高周波数の振動データ等)の場合、ネットワークトラフィック量も莫大なものとなる。したがって、数十万規模のモノが生成するデータのリアルタイム収集を行うネットワークプロセスの負荷に耐え得るクラウドシステムの構築には、大きなコストがかかる。

2. 研究の目的

小型のデバイス等が持つ計算処理能力やネットワーク性能が飛躍的に向上してきていることから、クラウドに送信するデータをネットワークの末端(エッジ)に配置された機器等(エッジデバイス)で処理するエッジコンピューティングと呼ばれるコンピューティングパラダイムが注目され始めた。一般に、インターネットを経由してセンサーデータを送信するには、ネットワーク接続能力を持つエッジデバイスが必要であるため、本研究では、このエッジデバイスを活用するエッジコンピューティングを前提とした。

本研究課題では、上記前提のもと、エッジデバイス上で複数のセンサーデータをまとめて1つとし、センサーデータ収集先のネットワーク占有時間・収集負荷を削減することで、クラウド上のネットワークプロセスの負荷を低減させることを目的とする。本研究課題において、複数のエッジデバイス同士が自律的に直接データを相互交換し、蓄積転送を行うデータ収集方式を提案するとともに、対応エッジデバイスを開発する。本方式が大規模データ収集を行うネットワーク基盤技術として確立されれば、将来ビッグデータアプリケーションの進展に大きく寄与するものと考えられる。

3. 研究の方法

本研究課題では以下の3つの課題に関する研究を実施した。

(1) 自律分散データ収集アルゴリズムの検討

膨大な数のノードからデータ収集を行う代表的な方法として、分散データアグリゲーション方式に関する研究が数多く存在する。インターネットやデータセンタに適用可能な構造化オーバーレイを活用する方式として、Chord 上に DAT と呼ばれる木を構築し、木の節に当たるノード上で演算処理を行う方式が提案されている。また、キー順序保存型構造化オーバーレイである Skip Graph を用いた範囲検索により、集約しながらデータ収集を行う方法の報告もある。しかし、前者の方式によるデータ収集は、センサー間の時刻同期が前提となり、実用的ではない。後者の方式は、一定時間毎に検索を実行する必要があるため、非同期で生成されるセンサーデータのリアルタイム性が損なわれる。また、その他方式を含め、既存方式は、主にデータセンタの計算サーバ等を前提としており、本研究が前提とするエッジデバイスで頻繁に生じる電源オン/オフや障害に対する耐性は弱い。

本研究課題では、前記の課題(時刻同期、リアルタイム性)を解決した上で、エッジデバイスが協調動作して構造化オーバーレイネットワークを構成し、エッジ間のデータの蓄積転送によってデータ収集で生じるネットワーク負荷を分散させるアルゴリズムを基本とした検討を進める。

(2) ノード間データ通信量の削減方式

エッジデバイスにおける上流・下流のネットワーク帯域は、送信すべきデータと比べて必ずしも十分に確保できるとは限らない。一方、エッジデバイスの処理性能は向上しており、受信データの加工等を行うことで収集データ量を圧縮・削減し、収集データ数を向上させることを可能とする環境が整ってきた。既存方式としては、画像データの品質を低下させることで圧縮率を向上させ、制約があるネットワーク上の送受信データ量を削減する方法、転送データパケット量を調節することで通信時間を削減する方法等が提案されている。しかしこれらの方法は収集データの内容に依存せず動作するため、品質低下やデータ量の削減に伴い、重要なデータが欠落してしまう課題がある。

本研究課題では、収集データ量を圧縮する手段の一つとして、エッジデバイス上でセンサーデータの分析処理を行い、重要度が高いデータを優先して送信することで、データ送受信量を削減し、最低限必要となるデータを取りこぼさず収集可能とする方法について検討を行った。

(3) プロトタイプの実装評価

上記方式それぞれについて、エッジデバイスを用いて基本アルゴリズムのプロトタイプを実装し、実環境での有用性を示す。

4. 研究成果

前述の課題(1)について、エッジデバイス間で自律分散的に構造化オーバレイネットワークを構成し、エッジ間のデータの蓄積転送によって複数データをまとめとし、ネットワークプロセス負荷を低減させる基本アルゴリズムを検討・提案した。Topic-base publish/subscribeによりデータを収集するための手法を前提とする。図1は、本研究課題で前提としたシステム構成である。ここでは、エッジ上で動作するデータ送信プロセス(publisher)および、受信プロセス(subscriber)をノードと呼んでいる。各ノードは、構造化オーバレイネットワークに参加し、publish/subscribeによるデータの送受信を実行する。構造化オーバレイネットワークとしては、キー順序保存方構造化オーバレイネットワークを用い、publisherとsubscriberが混在して隣接することがないノード間接続を行うものとする。

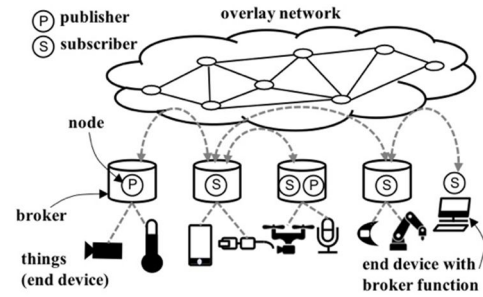


図1 想定システムの構成

本研究では、この想定環境のもと、では、ノード間の時刻同期を前提とせず、各ノードが非同期に動作する状況のもと、データ転送を「蓄積転送」によって実行するCSF (Collective Store and Forward) 方式を提案した。

また、データ収集においてトラヒックが集中する収集先付近のノードにおけるネットワークプロセス負荷を分散させるため、ADCT (Adaptive Data Collection Tree) と呼ばれるノード間木構造を自律分散で構成する方法を提案した。

図2は、提案手法および既存手法のシミュレーション評価結果を示している。X軸は収集対象(publisher)ノード数、Y軸はノード上でのデータを含むメッセージ転送数(単位時間あたり、対数グラフ)を表す。(p)は、publisherノードにおけるメッセージ転送数の最大値、(r)は、収集先(subscriber)、すなわち、データ受信ノードにおけるメッセージ受信数の最大値を表している。No CSFはCSFを適用せずにデータ収集を実行した場合、DAT、RQは既存手法(それぞれ、収集木を生成する既存手法、範囲検索を用いる既存手法)を表す。メッセージ転送数はネットワークプロセス負荷上昇の要因であるが、図が示す通り、提案手法は、手法を適用しない場合(No CSF)の1/10~1/100のメッセージ転送数に抑えられており、また、既存手法と比べても特に受信ノードのメッセージ受信数を最大でおよそ1/2~1/3に抑えられている。

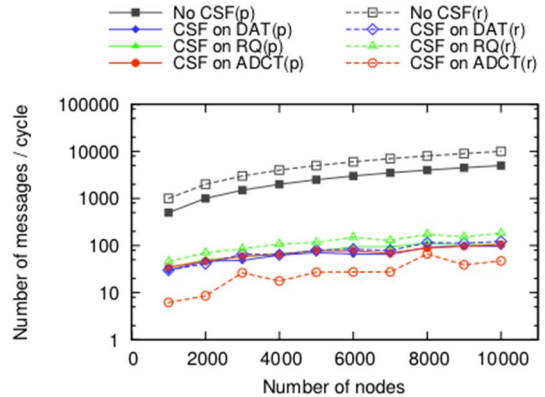


図2 転送メッセージ数(単位時間あたり)

課題(1)に対応する上で、連続的・周期的に生成されるセンサーデータストリームを対象とする場合、データの生成周期によっては、特定の時刻にネットワークプロセスの負荷が上昇する動作が繰り返されてしまう課題が生じる。一つのメッセージに収容可能なデータ数には上限があると考えられることから、過度な負荷の集中が起きると転送メッセージに含めることができず、収集データに欠落が生じてしまう。本研究では、この課題に対処し、ある時刻周期の負荷が過度に上昇する状況を軽減できるように、周期の位相を調整するネットワークプロセス負荷の均等化手法を提案した。提案手法ではセンサーデータの収集周期に加えて、各ノードへ個別の時間差(位相差)を与える。同じ周期でも位相差によって収集時刻が異なるため、集約可能な上限以上にストリームが特定の時刻へ集中する可能性を低減できる。センサーデータストリームを利用するアプリケーションとしては、時間的な粒度(データ生成頻度)が重要である場合が多く、データの生成時刻そのものは必ずしも重要ではないことから、位相差を与えることによる不利益はほぼ無いと言える。

図3は、本方式のシミュレーション評価結果である。X軸は各メッセージに収容可能なデータ数の上限、Y軸は各デバイスの瞬間的な負荷の最大値(最大瞬間負荷)である。SGは構造化オーバレイネットワーク Skip Graphを用いた提案方式であり、配信元ノードが宛先ノードへデータを直接送信(SD)によるデータ収集、直列データ転送(DC)による方法との比較を示している。それぞれ、w/ PSは位相差ありの提案方式である。多くのデータを収容可能な場合、提案方式によって最大瞬間負荷はおよそ1/10に抑えられることを確認した。

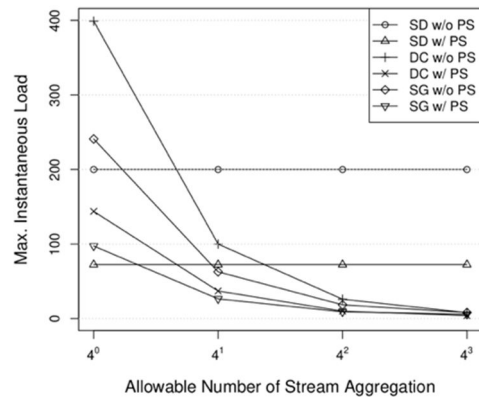


図3 サイズ上限に対する最大瞬間負荷

多くのデータを収容可能な場合、提案方式によって最大瞬間負荷はおよそ1/10に抑えられることを確認した。

前述の課題(2)について、エッジデバイスが送信するデータを分割し、分割されたデータのいずれを送信するかは受信側の要求に応じて決定する方法を提案した。データの分割の方法としては、分割されたデータが一つでもあればデータの最低限の復元は可能であり、分割されたデータを多く用いるほど復元データの品質をあげることができるデータ分割方法を想定する。

progressive JPEG を scan 毎に分割する方法はこれに相当する。このデータ送受信方法を、PQI(Progressive Quality Improvement)方式と呼ぶ。これによって、例えば、最低限の分割データのみを用いて画像の分析を行い、画像に差分が生じていることが判明した場合のみ、多くの分割されたデータを受信することにより、差分があった高品質の画像データのみを収集するといったことが、転送データ量を削減しつつ実現可能となる。これによって、publisher に相当するエッジデバイスが複数のデータソースを收容する場合に、データソースからのデータ生成レートを向上させることができる。本研究では、さらに、データの生成間隔を動的に調整することで、データ生成レートをベストエフォートで向上させられる方法を検討した。

図4は、本方式のシミュレーション評価結果である。X軸は一つのエッジデバイスに收容するデータ入力数(ストリーム数)、Y軸はデータ生成レート(トランザクションレートと呼んでいる)の平均値である。データ分割数は5であり、Final probabilityは、すべての分割データを受信する処理まで進む確率を示している。図に示した通り、すべての分割データを受信する場合と比べ、一部の分割データのみを受信すれば良い場合に、データ生成レートをおよそ二倍程度に上昇させることがわかった。また、データ生成レートを固定とする場合と比べると5倍から8倍程度のデータ生成レートが得られた。

前記課題(3)に対応する成果として、上記方式それぞれに対応するプロトタイプシステムを、エッジデバイスにRaspberry Piを用いて実装した。エッジ上で動作する構造化オーバーレイ構成機能の実装には申請者らが開発してきたエージェントベースの分散コンピューティングプラットフォームであるPIAX(<http://piax.org/>)を使用した。本研究課題で開発したソースコードは、GitHub やプロジェクトホームページ等を通じてオープンソース公開し、世界中から参照可能としていく予定である。

本研究課題の研究代表者、研究分担者は学術的に多くの成果を挙げており、また、最終年度、提案方式のオープンソースによる実装も完了しており、当初予定した研究計画の通り十分な成果を得ることができたと考える。本研究課題の成果は最終年度 Book Chapter としてまとめ、CRC Press より出版した。

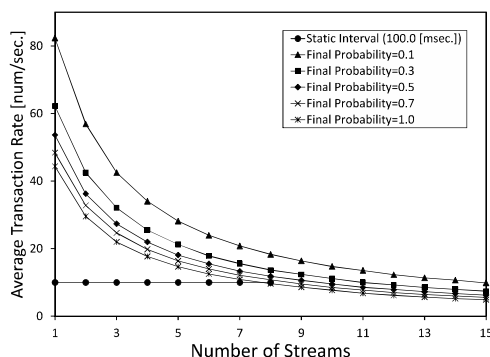


図4 入力数に対する生成レート

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yukonhiatou Chaxiong, Yoshihisa Tomoki, Kawakami Tomoya, Teranishi Yuuichi, Shimojo Shinji	4. 巻 11
2. 論文標題 A fast stream transaction system for real-time IoT applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Internet of Things	6. 最初と最後の頁 100182 ~ 100182
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100182	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 Yukonhiatou Chaxiong, Yoshihisa Tomoki, Kawakami Tomoya, Teranishi Yuuichi, Shimojo Shinji	4. 巻 27
2. 論文標題 A Method to Reduce Transaction Time for Real-time IoT Applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 701 ~ 710
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.2197/ipsjjip.27.701	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 Satoru Matsumoto, Yoshimasa Ishi, Tomoki Yoshihisa, Tomoya Kawakami, Yuuichi Teranishi	4. 巻 11
2. 論文標題 A Distributed Internet Live Broadcasting System for Multi-Viewpoint Videos	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Internatioinal Journal of Informatics Society (IJIS)	6. 最初と最後の頁 117 ~ 124
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 KAWAKAMI Tomoya, YOSHIHISA Tomoki, TERANISHI Yuuichi	4. 巻 E102.D
2. 論文標題 A P2P Sensor Data Stream Delivery System That Guarantees the Specified Reachability under Churn Situations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 932 ~ 941
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transinf.2018NTP0014	査読の有無 無
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 -

[学会発表] 計20件(うち招待講演 0件/うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Tomoya Kawakami
2. 発表標題 Node Virtualization for Structured Overlay Networks Based on Multiple Different Time Intervals
3. 学会等名 World Congress on Information Technology Applications and Services (World IT Congress 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Satoru Matsumoto, Tomoki Yoshihisa, Tomoya Kawakami, Yuuichi Teranishi
2. 発表標題 A Rule Design for Trust-Oriented Internet Live Video Distribution Systems
3. 学会等名 International Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems (SMDMS'19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoya Kawakami, Tomoki Yoshihisa, Yuuichi Teranishi
2. 発表標題 Evaluation of a Distributed Sensor Data Stream Collection Method Considering Phase Differences
3. 学会等名 International Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems (SMDMS'19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoru Matsumoto, Kenji Ohira, Tomoki Yoshihisa
2. 発表標題 A Mathematical Analysis of 2-Tiered Hybrid Broadcasting Environments
3. 学会等名 International Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems (SMDMS'19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chaxiong Yukonhiatou, Tomoki Yoshihisa, Tomoya Kawakami, Yuuichi Teranishi, Shinji Shimojo
2. 発表標題 A Performance Evaluation of Object Detections by Progressive Quality Improvement Approach
3. 学会等名 IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chaxiong Yukonhiatou, Tomoki Yoshihisa, Tomoya Kawakami, Yuuichi Teranishi, and Shinji Shimojo
2. 発表標題 A Dynamic Intervals Determination Method Based on Transaction Rates for Real-Time IoT Applications
3. 学会等名 IEEE International Workshop on Architecture, Design, Deployment and Management of Networks and Applications (ADMNET 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoki Yoshihisa, Satoru Matsumoto, Tomoya Kawakami, Yuuichi Teranishi
2. 発表標題 Trust-oriented Live Video Distribution Architecture
3. 学会等名 IEEE Computer Software and Applications Conference (COMPSAC'19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chaxiong Yukonhiatou, Tomoya Kawakami, Tomoki Yoshihisa, Yuuichi Teranishi, and Shinji Shimojo
2. 発表標題 An Implementation of Video Surveillance Systems with Progressive Quality Improvement Approach
3. 学会等名 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02019) シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本哲, 義久智樹, 川上朋也, 寺西裕一
2. 発表標題 自律映像処理を伴うトラスト指向インターネットライブ配信システムの検討
3. 学会等名 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2019) シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chaxiong Yukonhiatou, Tomoki Yoshihisa, Tomoya Kawakami, Yuuichi Teranishi, Shinji Shimojo
2. 発表標題 An Implementation of Surveillance Systems with Dynamic Transaction Intervals under PQI Approach
3. 学会等名 情報処理学会 第181回 マルチメディア通信と分散処理研究会(DPS)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺西裕一
2. 発表標題 大規模エッジデータ収集・配信のための構造化オーバーレイネットワーク
3. 学会等名 情報処理学会 第180回 マルチメディア通信と分散処理研究会(DPS)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川上朋也
2. 発表標題 複数の異なる時間間隔に基づく構造化オーバーレイネットワーク構築手法の評価
3. 学会等名 2019年度情報処理学会関西支部 支部大会, C-06
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chaxiong Yukonhiatou, Tomoki Yoshihisa, Tomoya Kawakami, Yuuichi Teranishi, Shinji Shimojo
2. 発表標題 A Scheme to Improve Stream Transaction Rates for Real-time IoT Applications
3. 学会等名 International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA'19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoya Kawakami, Tomoki Yoshihisa, Yuuichi Teranishi
2. 発表標題 A Load Distribution Method for Sensor Data Stream Collection Considering Phase Differences
3. 学会等名 International Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems (SMDMS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川上朋也, 石 芳正, 義久智樹, 寺西裕一
2. 発表標題 大規模センサデータストリーム収集のための位相調整を用いた負荷均等化手法の検討
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2018) シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chaxiong Yukonhiatou, Tomoki Yoshihisa, Tomoya Kawakami, Yoshimasa Ishi, Yuuichi Teranishi, Shinji Shimoj
2. 発表標題 A Scheme to Improve Stream Data Analysis Frequency for Real-time IoT Applications
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2018) シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺西裕一, 安倍広多
2. 発表標題 構造化オーバーレイネットワークSuzakuの性能について
3. 学会等名 第10回広域センサーネットワークとオーバーレイネットワークに関するワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoki Yoshihisa, Yoshimasa Ishi, Tomoya Kawakami, Satoru Matsumoto, Yuuichi Teranishi
2. 発表標題 Models for Stream Data Distribution with Progressive Quality Improvement
3. 学会等名 The 8th International Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems (SMDMS 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoya Kawakami, Yoshimasa Ishi, Tomoki Yoshihisa, Yuuichi Teranishi
2. 発表標題 A Skip Graph-Based Collection System for Sensor Data Streams Considering Phase Differences
3. 学会等名 The 8th International Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems (SMDMS 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川上朋也, 石 芳正, 義久智樹, 寺西裕一
2. 発表標題 分散センサデータストリーム配信における位相調整を用いた負荷均等化手法の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会インターネットアーキテクチャ研究会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Tomoya Kawakami, Tomoki Yoshihisa, Yuuichi Teranishi	4. 発行年 2019年
2. 出版社 CRC Press	5. 総ページ数 325
3. 書名 Data Science: Theory, Analysis, and Applications (Book Chapter, pp. 95-123)	

〔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
研究 分担者	義久 智樹 (Yoshihisa Tomoki) (00402743)	大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授 (14401)	
研究 分担者	川上 朋也 (Kawakami Tomoya) (30710470)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教 (14603)	