

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：10106

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K16053

研究課題名(和文) Research on distributed big data processing for IoT with hybrid cloud

研究課題名(英文) Research on distributed big data processing for IoT with hybrid cloud

研究代表者

SHAO XUN (SHAO, XUN)

北見工業大学・工学部・特任助教

研究者番号：80774588

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：近年、IoTにおけるビッグデータ処理は重要になりつつある。広域に分散されたセンシングデータをデータセンターに転送し、集中処理を行う従来技術では、転送遅延が大きく、ネットワーク資源の利用効率が低い問題がある。その問題を解決するために、本研究では、オーバーレイ技術を用いて、ネットワークの端にあるエッジコンピューティング資源の連携によってビッグデータの分散処理を行うセンサーオーバーレイアーキテクチャと、それを支える基盤技術であるフラッシュクラウド緩和手法と効率的な負荷分散機構などに取り組んでいる。理論解析、シミュレーション、およびテストベッド上の実証実験の結果によって提案手法の有効性が確認できた。

研究成果の概要(英文)：In recent years, big data processing for IoT has become more and more important. In conventional big data processing system, data from distributed sensing resources has to be transported to data centers to be processed. Such centralized model suffers from expensive network cost and long waiting time. In this research, I work on the framework and key algorithms to enable big data processing by the cooperation of distributed edge computing resources. Specifically, I propose an overlay network-based distributed big data processing architecture that takes the advantages of the cooperation of edge computing resources. To overcome the inherent problems in alleviating flash crowds and handling biased workloads, I propose novel flash crowds alleviation algorithm and load balancing algorithm. The algorithms are verified with intrinsic analysis and extensive experiments. The above achievements are expected to stimulate further development of IoT services.

研究分野：Information Networking, Distributed Systems

キーワード：IoT Overlay Networks Big data Distributed Systems ICN

1. 研究開始当初の背景

近年、あらゆる物をインターネット経由で相互接続させることで、サイバー空間と人間社会を融合する IoT についての研究が大きく進んでいる。IoT の重要な技術の一つとして、膨大な数のセンシングデバイスにより生成されたビッグデータを効率的に処理できる技術が注目されている。図 1 に示すように、広範囲に分散されているセンシングデバイスからのデータをクラウドに収集し、集中的にデータ処理を行う従来の技術では、ネットワーク帯域を大きく消費することに加え、転送遅延が大きな問題となる。

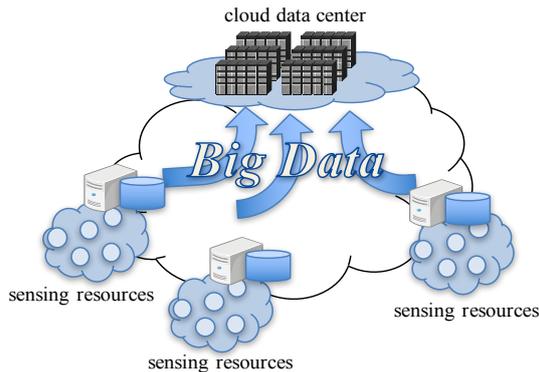


図 1：集中型アーキテクチャ

センシングデバイスとデータ処理を行うインフラストラクチャとの距離を短縮するために、ネットワークの縁辺にあるエッジ資源を用いたエッジコンピューティングが有望視されている。エッジ資源を利活用できれば、帯域消費と転送遅延を抑えることができるが、エッジ拠点ごとの資源の量が少ないため、フラッシュクラウドなど突発的なイベントに対応できないという問題がある。また、複数のエッジコンピューティング拠点のデータを統合処理しなければならないサービスが多くあり、エッジコンピューティング拠点間の効率的な連携メカニズムの確立が求められている。しかしながら、そのような有効なメカニズムはまだ確立されていない。

2. 研究の目的

本研究では、図 2 に示すように、エッジコンピューティング拠点間の連携により、IoT 向けの効率的なビッグデータ分散処理基盤技術の実現を目指している。この目標を達成するためには、いくつかの問題を解決しなければならない。

(1) 効率的、かつ実現性の高い大規模なエッジコンピューティング拠点を連携できるアーキテクチャを確立する必要がある。本研究では、複数のエッジコンピューティング拠点が自律分散型で構成、管理され、ノード数に対する拡張性の高いオーバーレイネットワーク技術を用いたエッジオーバーレイの実現を目指している。

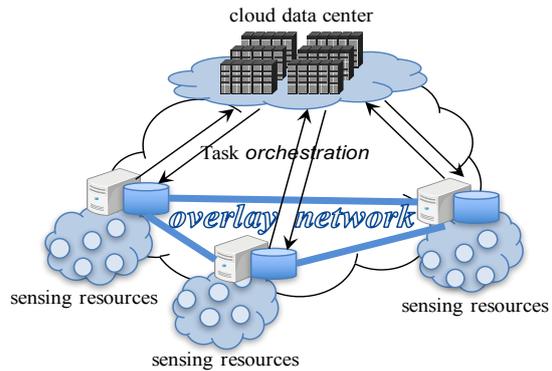


図 2：提案アーキテクチャ

(2) オーバーレイネットワークには優れた属性が多くあるが、オーバーレイノードはフラッシュクラウドに非常に悩まされるという問題がある。フラッシュクラウドの特徴は、相対的に短い時間のあいだに、あるサービスに対するリクエストが劇的に増加することである (図 3)。エッジオーバーレイにおいて、一つのノードはハイエンドのサーバ及びクラスタほど多くのコンピューティング資源・ストレージ資源を持っていないため、フラッシュクラウドがエッジオーバーレイネットワークに及ぼすダメージは極めて深刻である。そのため、エッジオーバーレイネットワークを実用化するには、効率的なフラッシュクラウド対策が必要不可欠である。

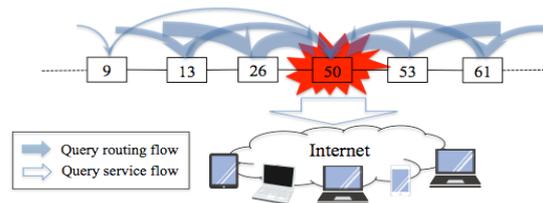


図 3：エッジオーバーレイにおけるフラッシュクラウド問題

(3) エッジオーバーレイネットワーク上の多くの IoT サービスでは、センシングデータの類似度および時空間的な属性によるデータ検索を求めている。そのため、範囲検索を可能にするストレージネットワークは必要不可欠である。範囲検索が可能なストレージネットワークは前述した Skip Graph によって実現できるが、データのキーの順番を保つために、ストレージノードの負荷に偏りが生じやすいという問題がある (図 4)。

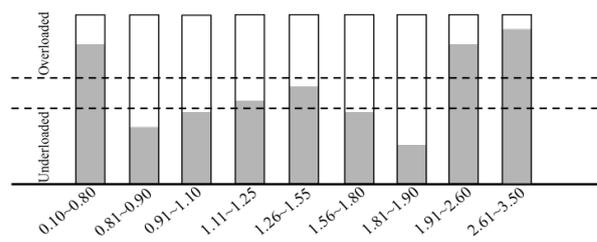


図 4：エッジストレージネットワークにおける負荷分布の偏り

本研究では、上述の問題を解決し、実用性の高いビッグデータの分散処理基盤技術の確立を目指している。

### 3. 研究の方法

本研究は図5で示すように、4つのフェーズに分けて行う。

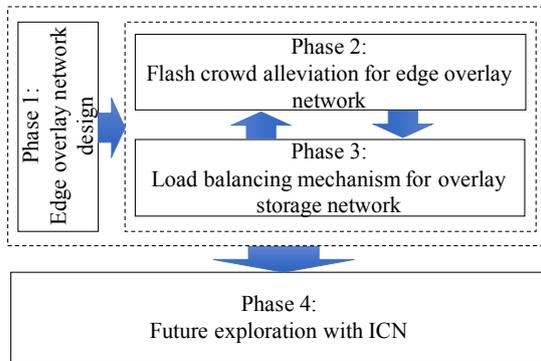


図5：本研究のフェーズ

(1) ビッグデータの分散処理を可能にするための重要なコンポーネントとそれらを統合するアーキテクチャの設計を行う。具体的には、オーバーレイネットワーク技術を用いてエッジコンピューティング拠点を相互接続させることによって、エッジオーバーレイネットワークを実現する。

(2) エッジオーバーレイネットワークを突発的なイベントなどによる膨大なリクエストから守るためにフラッシュクラウド緩和方法の研究を行う。

(3) センシングデータを多くのIoTサービスで効率的に利活用させるために、範囲検索可能なストレージネットワークとそれに関する低コストで効率的な負荷分散機構の研究を行う。フェーズ(2)、(3)とフェーズ(1)は、お互いに影響し合うため、それらの研究開発プロセスを反復的に行うことによって、研究成果の実現性を高める。

(4) オーバーレイネットワークに加えて、最先端のネットワーク技術の一つである情報指向ネットワーク(ICN)技術を用いて、さらなる性能向上の可能性を模索する。

### 4. 研究成果

本研究の成果には、Skip Graphを用いたエッジオーバーレイネットワークアーキテクチャ、フラッシュクラウド緩和対策とエッジストレージネットワークにおける負荷分散機構という3つの要素が含まれている。

#### (1) エッジオーバーレイネットワーク

図6にエッジオーバーレイネットワークのアーキテクチャを示す。図の右側に示したものが、一つのオーバーレイノードのアーキ

テクチャーである。1つのオーバーレイノードには、3つのコンポーネントが含まれる。それはセンサー資源、センサーデータストレージ、コンピューティング資源である。その利用者は、機械、エンドユーザー、IoTサービス事業者、あるいは他のエッジオーバーレイノードも考えられる。センサー資源の所有者はこのアーキテクチャーをエッジコンピューティング技術により実装する。図の左側は、個別のエッジオーバーレイノードを統合することで開発されるエッジオーバーレイネットワークを示している。ゲートウェイ付近の数字は、センサー資源のプロパティである。図の左下側は、Skip Graphに基づいたオーバーレイ基層を示している。これは構造的な範囲検索P2Pである。範囲検索は、それによってユーザーが正確なユニーク(一意的)IDやIPアドレスを知らなくてもセンサー資源を発見できるようになるため、非常に重要な機能である。たとえば、ある地域で地震が発生した場合、ユーザーは「震源から100km以内の地域にあるセンサー」といった検索条件により、必要とするセンサー資源を見つけることができる。本研究では、このようなオーバーレイネットワーク技術を用いて、大規模なエッジコンピューティング拠点を効率的に連携可能とする基盤技術を実現した。

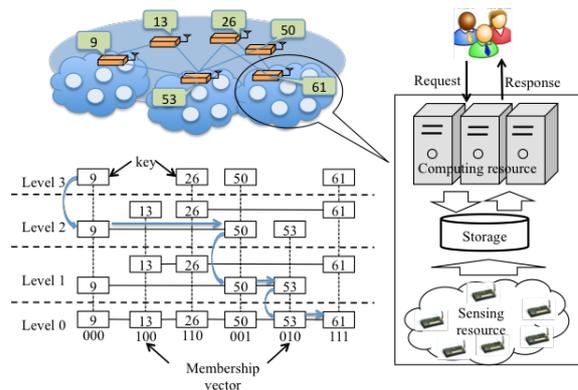


図6：エッジオーバーレイアーキテクチャ

#### (2) エッジオーバーレイネットワークにおけるフラッシュクラウド対策

図7で本研究が提案した仮想ノードを用いたフラッシュクラウド対策を示す。本研究が採った手法は、フラッシュクラウドが生じる場合、ホットスポットであるノード以外の大抵のノードは空いているという観察に基づいている。具体的に、あるノードがフラッシュクラウドを検知すると、そのノードは空きノードの情報を集めるために指定されたTTLにサンプリングメッセージを送信する。十分な空きノードの情報が集まった後、そのノードは、条件を満たす空きノードの各々に対し、自らと同じキーを持つ仮想ノードを作るよう要請する。それから、この仮想ノードがあたかも通常のノードであるかのようにオーバーレイネットワークに挿入される。キー順序保存性に従い、すべての仮想ノードはオーバ

レイトポロジー中でホットスポットとなっているノードの周囲に挿入される。仮想ノードはホットスポットとなっているノードと同じプロセスを走らせ、ユーザーに対して同じサービスを提供する。このアプローチにより、ホットスポットとなっているノードの検索サービス負荷だけでなく、ホットスポット近隣のノードの検索ルーティング負荷も大幅に分散させることができる。

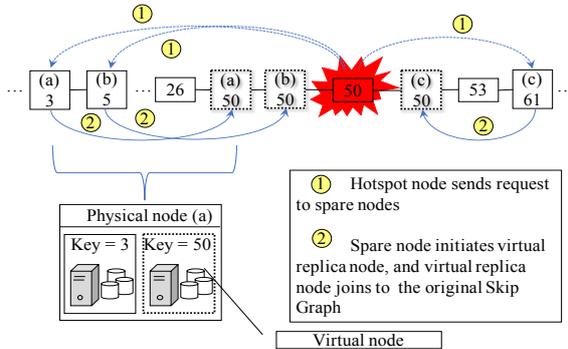


図7：仮想ノードによるフラッシュクラウド緩和手法

提案した方法进行评估するための徹底的なシミュレーションが行われた。図8は、仮想ノード及び本来のノードのあいだでの負荷分布を示すものである。横軸は仮想ノードの数を、縦軸は各ノードの理想的な負荷レシオを示している。たとえば、仮想ノードの数が20個であれば、理想的な負荷レシオは1/20になるはずである。この図では、実際の負荷レシオと理想的な負荷レシオの標準誤差をエラーバーの形で示している。方法が、サービス負荷の分布という点でうまく機能していることが分かる。

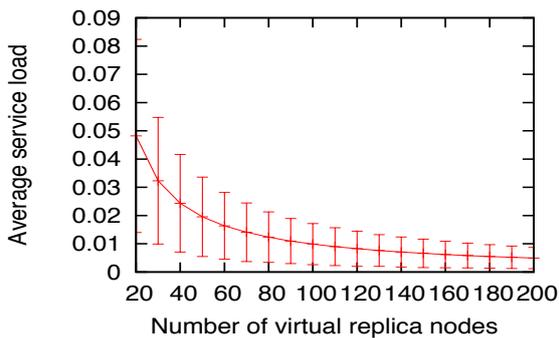


図8：提案手法のフラッシュクラウド緩和効果

### (3) エッジストレージネットワークにおける低コストで効率的な負荷分散機構

本研究では、各ストレージノードを複数の仮想ノードに分割し、それらの仮想ノードにデータの担当範囲を振り当てて、Skip Graphネットワークを構造化する(図9)。一部の仮想ノードにデータを格納しながら、他の仮想ノードを空にする。データを格納する仮想ノードの負荷を一定の範囲に維持することに

より、システム全体の負荷分散の度合いは、データを格納する仮想ノードの割合で近似できる。よって、高負荷の物理ノードと低負荷の物理ノード間で負荷を均等化するために、データを高負荷の物理ノードの中の空きでない仮想ノードから、低負荷の物理ノードの中の空仮想ノードに移動させれば良い。この手法では、負荷をうまく分散できると同時に、オーバーヘッドが非常に少ないというメリットがある。

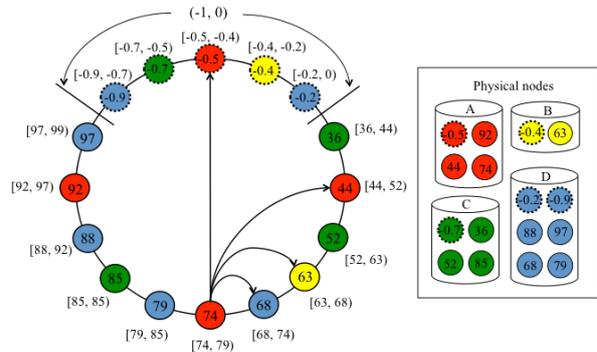


図9：オーバーレイネットワークを用いた負荷分散機構

提案手法进行评估のために、多様な初期負荷(workload A、workload Bとworkload C)による評価を行い、従来の代表的な手法であるLoReCとの比較を行った。図10、11、12は提案手法の負荷分散効果を示すものであり、図13は提案手法のオーバーヘッドを示すものである。評価の結果から、提案手法は従来の手法と似た負荷分散効果を実現できるが、オーバーヘッドが圧倒的に少ないことが明らかになった。

上述した成果に加え、本研究では、最先端のネットワーク技術の一つである情報指向ネットワーク(ICN)を用いて、システム性能をさらに向上するための模索を行い、初期成果を獲得できた。将来の計画として、ICN技術とオーバーレイ技術のそれぞれのメリットを發揮し、デメリットを克服できるよう、検討し続けたい。

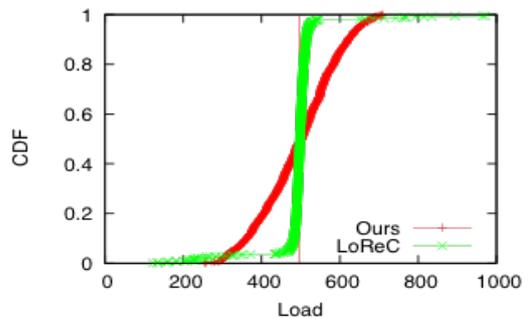


図10：ワークロードAによる負荷分散効果の比較

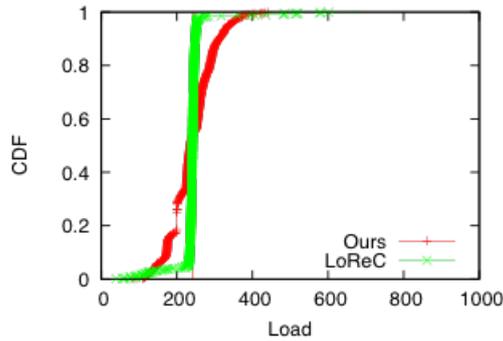


図 1.1 : ワークロード B による負荷分散効果の比較

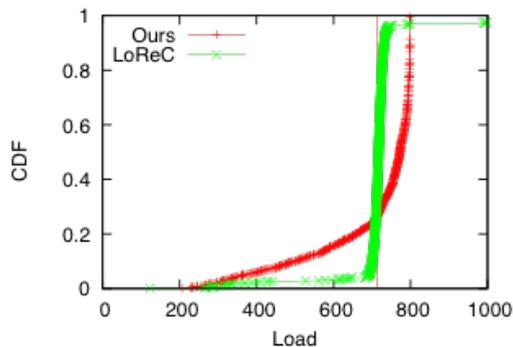


図 1.2 : ワークロード C による負荷分散効果の比較

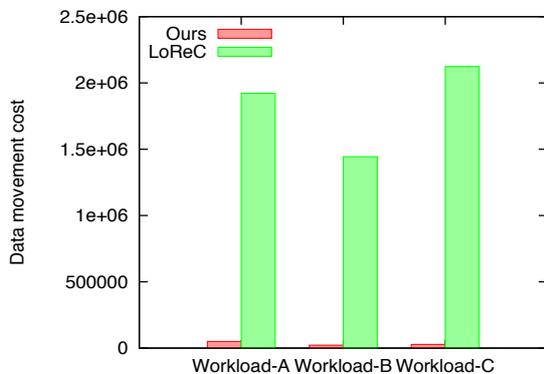


図 1.3 : 従来の手法とのオーバーヘッドの比較

## 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 3 件)

[1] X. Shao, M. Jibiki, Y. Teranishi and N. Nishinaga, “An Efficient Load Balancing Mechanism for Heterogeneous Range Queriable Storage Networks”, Elsevier Future Generation of Computer Systems, Vol. 78, pp: 920–930, 2018 (査読あり)

[2] Z. Ma, Y. Dong, H. Liu, X. Shao and C. Wang, “Method of Forecasting Non-Equal Interval Track Irregularity based

on Improved Grey Model and PSO-SVM”, IEEE Access, pp:1–6, 2018 (査読あり)

[3] X. Shao, M. Jibiki, Y. Teranishi and N. Nishinaga, “A Virtual Replica Node-based Flash Crowds Alleviation Method for Sensor Overlay Networks”, Elsevier Journal of Network and Computer Applications, Vol. 75, pp: 374–384, 2016 (査読あり)

[学会発表] (計 5 件)

[1] H. Masui, K. Kikuchi, R. Kurose and X. Shao, “Concept of a Unified Research Management System and its Application to Data Clustering”, in Proc. IIAI-AAI 2018, 2018

[2] H. Asaeda and X. Shao, “CCInfo: Discovering Content and Network Information in Content-Centric Networks”, the 101<sup>st</sup> IETF/IRTF meeting, 2018

[3] X. Shao and H. Asaeda, “A Cooperative Mechanism for Efficient Inter-Domain In-network Cache Sharing”, in Proc. IWQoS 2017

[4] X. Shao and H. Asaeda, “A Study on Inter-Domain Cache Sharing Mechanism”, in Proc. 8<sup>th</sup> IEICE ICN workshop, 2017

[5] H. Asaeda, X. Shao and T. Turletti, “Contrace: Traceroute Facility for Content-Centric Network”, the 100<sup>th</sup> IETF/IRTF meeting, 2017

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

Xun Shao (SHA0, Xun)

北見工業大学・工学部・特任助教

研究者番号：80774588