

平成 30 年 5 月 16 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26280033

研究課題名(和文)個人参加型細粒度クラウドコンピューティングを実現するネットワーク制御基盤技術

研究課題名(英文) Network Control Infrastructure Technologies for Participating Fine-Grained and Distributed Cloud Computing

研究代表者

戸出 英樹 (Tode, Hideki)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20243181

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、個人参加型細粒度クラウドコンピューティング環境を指向した情報ネットワーク制御基盤技術の確立を目的とし、従来の大規模なデータセンタを地理的に限定配置する形態ではなく、細粒度で分散配置された個人もしくは小規模事業者ベースの計算機資源の提供環境を前提としてユーザの極近傍に計算機資源やデータベースを配置し低レイテンシなシステム環境を構築するための要素技術を提案した。特に、「解析・利用データと必要な資源とのマッチング」と「多数のビッグデータと計算機資源間のネットワーク距離短縮」を実現する技術をネットワークアーキテクチャの視点から確立し、ベンチマーク方式に対する性能向上を実証した。

研究成果の概要(英文)：In this research, for the purpose of establishing information network control infrastructure technology oriented toward participating fine-grained and distributed cloud computing environment, without adopting the conventional environment where a few large-scale data centers are located in a geographically limited manner, we proposed elemental technologies to construct a low-latency system environment by placing computing resources and databases in the vicinity of the user, on the premise of the provision environment of computer resources by individuals or small-scale computer resource providers. In particular, we established technologies that realize "matching analysis / usage data with necessary resources" and "shortening the network distance between a large number of big data and computer resources" from the viewpoint of network architecture, and quantitatively demonstrated performance improvement of our proposal against benchmark method.

研究分野：情報学・計算基盤・情報ネットワーク・サービス構築基盤技術

キーワード：クラウドコンピューティング 参加型サービス ビッグデータ 情報システム ネットワーク制御

### 1. 研究開始当初の背景

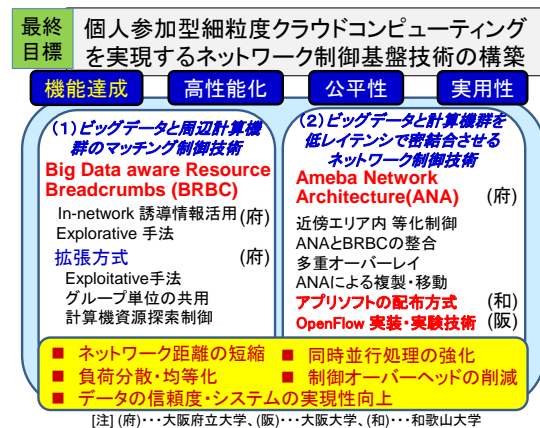
あらゆる場所であらゆる人間活動や環境情報の観測の結果として得られたビッグデータはそのサイズの増大に加え、個数的な増大も顕著になることが予想される。また、これまでの大規模企業のみならず、中・小規模の企業や組織、さらには個人レベルでもビッグデータを解析し有効活用することにより、対象組織の強化や新たなビジネスの創出のトリガが得られることになる。従来の世界的な関連研究開発の取り組みは、データセンタ (DC) のように大規模な計算機群が特定の場所に集中的に配置される環境であり、その総数はあくまで限定されている。このような環境下で、主として集中管理型で光ネットワークを介してDC 間を自在に光パスで接続する研究が注目されつつある。一方、広域分散的に発生したビッグデータを多数のユーザが高密度に利用する環境では、多数のビッグデータを解析するためのデータ近傍の計算機資源が不足するという問題や、データと計算機資源が地理的に遠隔に存在することに起因する分析処理の非効率化問題に直面することが懸念される。

### 2. 研究の目的

本研究では、個人参加型細粒度クラウドコンピューティング環境を指向した情報ネットワーク制御基盤技術を確立することを目的とする。従来のような大規模なデータセンタを地理的に限定的に配置する形態ではなく、細粒度で分散配置された個人もしくは小規模事業者ベースの計算機資源の提供環境を前提としてユーザの極近傍に計算機資源やデータベースを配置し低レイテンシなシステム環境を構築することにより必要な知見を迅速かつ低コストに入手可能とする。特に、「解析・利用データと必要な資源とのマッチング」と「多数のビッグデータと計算機資源間のネットワーク距離短縮」を実現する技術をネットワークアーキテクチャの視点から確立し、基本方式に対する性能向上、公平性向上、実用性向上を目指す。

### 3. 研究の方法

表題技術の確立のため、(1) ビッグデータと周辺計算機のマッチング制御技術と(2) ビッグデータと計算機群を低レイテンシで密結合させるネットワーク制御技術を確立させる。(1) はIn-network 誘導技術を拡張する方針で、基本設計、主要パラメータの調整制御・優先制御、拡張制御、プロトタイプ実装・検証実験の順で研究を随時遂行する。(2) も同様にAmeba 網(ANA)を拡張する方針で、データと計算資源集合の組を光通信レイヤで近傍に閉じ込める方式の設計、資源枯渇に対する適応制御、拡張グループに対する制御、プロトタイプ実装・検証実験の順で遂行する。原則、大阪府立大学の代表者戸出と谷川、大学院・学部4 年生計6 名程度で担当する。ただし、ANA のプロトタイプ検証実験ではOpenFlow 技術の専門性が高い大阪大学廣田との協働、同様にアプリケーションソフトの配布制御関連は和歌山大学藤本との連携で遂行し、進捗の効率化を最大限に高める。以下に目的並びに方法の概略図を示す。



### 4. 研究成果

(1) ビッグデータと周辺計算機群のマッチング制御技術に関して、鍵となる技術として代表者らが先行提案している Resource Breadcrumbs (RBC) では、計算資源提供ノードであるサプライヤが周囲のノードに対して誘導情報を適宜拡散する。ユーザはクエリをルートサーバへ送信し、要求資源に関する誘導情報を保持するノードに到着すると、サブ

ライヤへIPルーチングによって誘導される。本研究では、この技術自体に対してサプライヤ周りへのRBC配布のみならず、資源提供ノードがユーザに送信するメッセージの経路上にも配布するEn-route RBC方式を拡張提案し、基本探索性能を飛躍的に向上させた。次に、本方式をベースとして、解析対象の散在するビッグデータと解析のための計算機群の組み合わせをそれぞれのローカルなエリア内に構成するBig Data aware Resource Breadcrumbs (BRBC)の要素技術として、利用する計算機資源とデータ資源群が相互に近傍になるような組み合わせを自律的に発見する方式であるSelection of Proximal Supplier (SPS)方式を提案し、方式設計を行った。上記の各方式に対して、計算機シミュレーションにより基礎評価を行い、有効性を確認した。

(2) ビッグデータと計算機群を低レイテンシで密結合させるネットワーク制御技術に関して、ネットワーク基盤の視点から、データと利用可能な計算機資源間のネットワーク距離を如何に縮めるかの解決策として、代表者らの先行提案技術である、ネットワーク仮想化技術に基づくAmeba Network Architecture (ANA)のフレームワークを発展させた。地理的に分散されたノードからなる仮想交換機を構成する内部光パス・光クロスコネクタ集合と、それらをつなぐ外部光パスを効率的に発見する改良方式を遺伝的アルゴリズムを応用して提案し、導出解の性能が従来方式よりも改善され、その結果、ノード間距離の短縮が図られることを確認した。

(3) 多数のビッグデータが計算機資源を競合的に奪い合うケースにおける計算機資源の公平な配分を実現する制御機構として、Split Assignment Schemeを提案し詳細設計した。本手法では、各ビッグデータ近傍の計算機資源集合に対し、Assignment Candidate SUPPLIER Listを構築する。そのリスト内の各計算機資源エントリのソーティング順序に関して、プ

ライマリグループ、セカンダリグループを定義し、前者には近傍性 (IPホップ) を保証するために最近傍のホップ数+ $\alpha$  (マージン) 以内のホップ数内のサプライヤが属し、その中では、資源使用率、競合度の順で優先ソーティングを行う。一方、後者に関してはプライマリ以外のサプライヤの中で近傍性 (IPホップ)、資源使用率、競合度の順で優先ソーティングを行う。この優先順位づけられたリストを基に、小さな基本単位資源量ずつ各ビッグデータに資源を順次配分する。これにより近傍性を維持しつつ公平性を達成できるように設計可能となる。また、そのアルゴリズムを、Ameba Network Architecture (ANA) のフレームワークに組み込み、仮想化光ネットワークの光パスレイアウトと、計算機資源の割り当てを同時並行的に確定するアルゴリズムを、遺伝的アルゴリズムをベースにして融合的に導出する方式を確立した。本方式の有効性を計算機シミュレーションにより実証した。特に、データと計算機資源のグループが局所的に高密度に多重化される環境を想定して、JPN48ネットワークのGravityモデルで人口対応のトラフィック偏重がある環境下においてもその有効性を実証している。

(4) ビッグデータと周辺計算機群のマッチング制御技術の鍵となる技術の一つであるResource Breadcrumbs (RBC) に対し、ビッグデータ主導で周辺の計算機資源をRBCの機構に従って探索する手法の詳細設計を行った。特に拡張方式として、次の2つの課題に取り組んだ。まず、資源探索のアンカーポイントを1箇所限定せず、複数の候補に向けてクエリを送出する方式として、複数のサロゲートサーバへクエリを送出し、RBCのヒット率向上を図る方式を提案し、その有効性を計算機シミュレーションにより明らかにした。次に、ビッグデータ周辺に限定的なフラッディングによりクエリを拡散し、必要な計算機資源を探索する user-side flooding 方

式を提案した。Linux コンテナ (LXC) ベースのプロトタイプ実装を行い、その上での実証実験を通じて本方式の有効性を明らかにした。

(5) ビッグデータと周辺計算機群の動的なマッチング制御技術に関して、Big Data aware Resource Breadcrumbs (BRBC) の拡張として、計算機資源の概念を VNF (Virtualized Network Function) として拡張的に想定し、種別に応じた Function の選択利用順序を反映することができる、「サービスチェイニング」を考慮した Function Breadcrumbs (FBC) の基本制御方式を確立し、その有効性を明らかにした。

(6) ビッグデータと計算機群を低レイテンシで密結合させるネットワーク制御技術として、Ameba Network 概念に基づきビッグデータと近傍エリアの計算機資源群をより少ない光パスで効率的に接続する制御と、計算機資源のビッグデータ間での公平な配分を連携させる手法を詳細設計した。具体的には、光波長パスによる光仮想ネットワークの構成法と、各ユーザと計算機資源間のネットワーク距離に関する公平性の確保、並びに各計算機資源間における負荷分散を実現する資源の分割割り当て手法の連携方式である。その際、より柔軟で効果的な光波長パスの配置を可能にする遺伝子表現を適用し、提案方式の有効性を光波長パスの平均ホップ数、資源間距離、資源利用率などの観点から実証した。

(7) 複数資源種別に基づく一般的なコンテンツの探索で、検索の網羅性と迅速性を両立する手法として、網内ノード間で分散ハッシュテーブルを構築・管理する Independent Search and Merge (ISM) 方式とキーワードに基づく Breadcrumbs (Keyword based Active Breadcrumbs : KABC) とを融合した、ISM-KABC 方式を提案し、その有効性を評価した。また、フラディング型配布よりも少ないメッセージ量・制御負担で効果的に計算機資源やコ

ンテンツを探索する方式として、ホットスポットなクエリ通過ノードを拠点とした補助的な Breadcrumbs Trail を積極的に構築する手法を提案し、BC ヒット率の大幅な改善効果を実証した。

(8) OpenFlowを用いた光経路制御系の研究として、ファイバ遅延線で構成される光バッファの容量に強い制約がある光パケット交換網において、継続性のあるバースト通信に対して、ネットワーク側で混雑の予想されるノードを事前に検知し適切なオフローディング先経路を早期に決定する手法を提案した。OpenFlowコントローラ開発用フレームワーク Trema、並びに Ryu + Mininet の双方の環境で提案方式をソフトウェア実装し、計算機内のプロセス間通信によるエミュレーション実験を通して、Proof-of-Concept としての機能検証、及びパケット廃棄率性能の向上を検証した。

## 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 14 件 : 全て査読有り)

- ① H. Nakano, Y. Tanigawa, and H. Tode, Optical Virtual Network Configuration Method for Tightly Coupling Big Data and Peripheral Computer Resources, Proceedings of IEEE CCNC 2017, Workshop-Edge Computing, pp.165-171, Las Vegas, USA, Jan. 2017
- ② M. Kakida, Y. Tanigawa, and H. Tode, Multi-Criteria Breadcrumbs Scoping: Multiple Constraint-Based Distribution Methods of In-Network Guidance Information in Content-Oriented Network, IEEE Transactions on Network and Service Management, vol. 13, no. 2, pp. 322-334, June 2016
- ③ Y. Inaba, Y. Tanigawa, and H. Tode, Content Retrieval Method in Cooperation with CDN and Breadcrumbs-based In-network Guidance Method, IEICE Transactions on Communications, vol. E99-B, no. 5, pp. 992-1001, May 2016
- ④ C. Michard, Y. Tanigawa, and H. Tode, User-side Flooding for Query Distribution in Breadcrumbs-based

Content-Oriented Network and its Experimental Evaluation, Proceedings of APSITT 2015, Selected Session, SS-6-4, 3 pages, Colombo, Sri Lanka, Aug. 2015

- ⑤ K. Nishii, Y. Tanigawa, and H. Tode, A Participating Fine-Grained Cloud Computing Platform with In-Network Guidance, IEICE Transactions on Communications, vol. E98-B, no. 6, pp. 1008-1017, June 2015

[学会発表] (計 19 件 : 全て査読無し)

- ① 小田 裕太郎、谷川 陽祐、戸出 英樹、Service Chaining のための In-network 誘導技術に基づく VNF 探索法の検討、2017 年電子情報通信学会総合大会、B-6-27、2017 年 3 月
- ② 中野 啓太、谷川 陽祐、戸出 英樹、ビッグデータと周辺計算機を密結合する光仮想ネットワーク構成と資源配分法、信学技報、vol. 116, no. 322, NS2016-117, pp. 91-96、2016 年 11 月
- ③ 稲場 裕太郎、谷川 陽祐、戸出 英樹、CDN と Breadcrumbs 方式の連携制御に基づくコンテンツ取得法とキャッシング特性の分析、信学技報、vol. 116, no. 322, NS2016-102, pp. 7-12、2016 年 11 月
- ④ 前嶋 佑哉、大砂古 雅喜、谷川 陽祐、廣田 悠介、戸出 英樹、光パケット・光パス統合網における早期予測に基づくオフローディング制御の検討、信学技報、vol. 116, no. 205, PN2016-21, pp. 41-44、2016 年 9 月

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

戸出 英樹 (TODE, Hideki)  
大阪府立大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号 : 2 0 2 4 3 1 8 1

### (2) 研究分担者

谷川 陽祐 (TANIGAWA, Yosuke)  
大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号 : 9 0 5 4 8 4 9 7

### (3) 研究分担者

廣田 悠介 (HIROTA, Yusuke)  
大阪大学・大学院情報科学研究科・助教  
研究者番号 : 2 0 5 3 3 1 3 6

### (4) 研究分担者

藤本 章宏 (FUJIMOTO, Akihiro)  
和歌山大学・システム情報学センター・助教  
研究者番号 : 3 0 7 1 1 5 5 1