

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11873

研究課題名(和文) P2P端末による動的Fogを用いた仮想的三層構造コンテンツ共有システムの開発

研究課題名(英文) A Development of Virtual Triple-Layer Content Sharing System Using Dynamic Fog Consisting of P2P Terminals

研究代表者

菅原 真司 (Sugawara, Shinji)

千葉工業大学・工学部・教授

研究者番号：90313410

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、P2Pネットワークを構成する複数の端末により動的Fog (Dynamic Fog) を形成し、これを複数のCloudシステムに組み合わせることで、Cloud-Fog-Edge階層構造を仮想的に構成する手法について検討し、これを用いた効率的なコンテンツ共有システムを開発している。このシステムでは、従来のように物理的に三層の構造をとるのではなく、Fogの部分はEdgeの一部により動的に構成されるため、Fogサーバの運用コストの削減とそのリソース配置の最適化が期待できる。また、提案手法は計算機シミュレーションによる性能評価の後、実際に動作するシステムとして設計・構築される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、三階層構造の中間層であるFogを複数の移動体端末を含むPeerで動的に構成する手法を検討している。クラウドと連携し、P2Pネットワークを構成してコンテンツ共有を行う多様な端末群が、各々の能力と置かれた状況に応じて交代で動的かつ自律的に、必要に応じた規模のFog機能を有する仮想的なサーバを提供することができれば、柔軟で効率的なコンテンツ共有システムを低コストで実現することが可能となる。通常のFogコンピューティングでは、システム側がサーバ資源を端末の近隣に必要数配置するが、本研究ではこのサーバ機能を、複数のユーザ端末が動的に集合して仮想的にFog機能を構成する点に独自性がある。

研究成果の概要(英文)：In this research, we formed a Dynamic Fog using multiple terminals that make up a P2P network, and by combining this with multiple Cloud systems, we designed a method to virtually construct a Cloud-Fog-Edge hierarchical structure, and use this to develop an efficient content sharing system. In this system, rather than having a three-layer physical structure as conventional methods, the fog part is dynamically constructed from part of the Edge terminals, which can be expected to reduce the operating costs of fog servers and optimize their resource allocation. Furthermore, after evaluating the performance of the proposed method through computer simulation, it was designed and constructed as an actual system.

研究分野：分散システム，情報通信ネットワーク

キーワード：コンテンツ共有 動的Fog Peer-to-Peer

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

これまでの研究において申請者らは、ユーザ端末の貢献を前提とした P2P ネットワークと Multi-Cloud のハイブリッドによるコンテンツ共有システムを提案し、その有効性を明らかにした。Cloud と端末を組み合わせたサービスを実行するシステムは一般に Cloud 層と Edge 層の二層構造となっている。これに対して近年、端末の周囲の状況や地域性、ユーザグループの嗜好などを考慮し、細かく差別化したニーズに対応するサービス提供や、応答速度の改善、ネットワークトラフィックや計算量のオフロード (off load)などを目的として、Cloud 層と Edge 層の間に Fog と呼ばれる中間層のサブシステムを配置した三層構造をなす計算機システムが導入され、様々な分野で応用されている。このようなシステム形態は、地域に固有のインデックス情報を Fog でまとめて共有し迅速にコンテンツの交換をする効果が見込めるなど、コンテンツ共有においても有効である。しかし、Fog 階層を専用のサーバとして配置する場合、このサーバの維持管理コストが発生する。また、利用機会がない時期や負荷の分布が時間的に変化した場合にもこれを保持し続ける必要があるため、計算資源の有効利用が難しい。

2. 研究の目的

本研究では、上記の三階層構造の中間層である Fog を複数の移動体端末を含む Peer で動的に構成する手法を検討した。予め準備されたクラウド上のプロセスと連携し、P2P ネットワークを構成してコンテンツ共有を行う Edge と位置づけられる多様な端末群が、各々の能力と置かれた状況に応じて交代で動的かつ自律的に、必要に応じた規模の Fog 機能を有する仮想的なサーバを提供することができれば、柔軟で効率的なコンテンツ共有システムを実現することが可能となる。

通常の Fog コンピューティングでは、システム側が準備したサーバに相当する資源を端末の近隣に必要な数配置することになるが、本研究ではこのサーバ機能を、Edge デバイスとして動作できる高機能端末を中心に、複数のユーザ端末が動的に集合して仮想的に Fog 機能を構成する点に独自性がある。

3. 研究の方法

前述のようなシステム構成では、システム提供側は Cloud 上に配置した資源と各ユーザ端末に持たせたアプリケーションのみでシステムを運用することが可能となり、物理的なシステム構成を二層とすることで運用コストを削減できる。また、仮想的(論理的)には Cloud-Fog-Edge の三層構造のシステムであり、必要に応じて規模を変更できる動的 Fog が形成されるため、利用されない時間帯には資源を割く必要はなく、時間的に負荷の分布が変化してもそれに合わせて柔軟に Fog サーバのリソースを展開できるため、システム提供側、利用側の双方にとって無駄のない構成となる。また、動的 Fog は同時に複数個、異なる目的(共有ジャンル、言語、地域の違いなど)で構成され、同一の端末 (Edge) が同時に複数の Fog に関わることも可能となる。構成されるシステムの中心的な開発すべき機能は動的 Fog の自律性の部分であり、一部の端末が移動したり、Fog への加入と退出を繰り返したりしても、後述のリーダ端末を中心にクラウドと連携しながらインデックス情報の喪失を回避し、円滑にコンテンツを共有する点に新規性を持つ。

これまでの研究により、Cloud と Edge を用いた二層構造のコンテンツ共有システムの設計とシミュレーションによる性能評価を既に行っている。本研究では、これに動的 Fog の機能を追加

することで Cloud 上のサーバやネットワークへの負荷を軽減し、同時にコンテンツ探索及び取得に要する遅延を抑制する手法を検討した。さらにはシステムの実装を行い、実際に動作するシステムを設計した。

2021 年度には、単一の動的 Fog を自律的に構成するアルゴリズムを検討した。考案した手法は、計算機シミュレーションにより評価し、各 Edge の計算量や Fog 内部でのトラフィックが適正な値に収まるか、あるいは Edge 端末の移動、交代（ネットワークへの加入・退出）があってもインデックス情報が適切に共有されるかなども検証した。

2022 年度には、複数の動的 Fog の階層化、または別のアクセス網の動的 Fog と並列化することでスケーラビリティを確保し、ユーザ数の増加によるシステムの大規模化に対応可能なシステム構成を検討した。また、各 Fog の地域性を生かした制御についても検討を加えた。

2023 年度には、動的 Fog を用いたコンテンツ共有システムを実際のネットワーク環境下で実装する。大規模なユーザ数での検証は困難であるが、一定規模のシステムのプロトタイプを動作させ、実現可能性を確認する。この段階の研究は現在も継続して行っている。

4. 研究成果

本研究の成果としては、いくつかの方式の提案と評価、およびプロトタイプ的设计と制作が挙げられる。それらのうち外部に発表したものとして代表的なものを下記にまとめる。

(1) 動的 Fog を用いたコンテンツ共有におけるユーザ数の変化への対応

(T. Itokazu, S. Sugawara, "Adaptation to Changes in the Number of Users in P2P Content Sharing System Using Dynamic Fog," 2021 IEEE ICCE-TW, Sep. 2021.)

ひとつの都市エリアに存在する移動体端末(スマートフォンを仮定)が時刻により変化する場合に、適切に動的 Fog を形成してコンテンツ共有を行うための手法を提案し、実際の端末数の変化を用いた計算機シミュレーションによりその有効性を検証した。

提案方式は、コンテンツ共有に要する通信をローカルネットワークにて概ね完結させ、従来方式よりも広域ネットワークへの負荷を抑制することを可能とした。

(2) 各コンテンツの人気度変化に従った各エリアでの適切なレプリカ配置数制御

(K. Takahashi, S. Sugawara, "Efficient In-advance Shared Content Deployment Method Using Popularity Prediction in Hybrid Peer-to-Peer Network with Cloud Storage," ITE Trans. on MTA Vol. 10, No. 4, pp. 225-233, Oct. 2022.)

コンテンツの人気度は、時間的に変化してゆくが、これを観測し、需要に合わせてサービスを展開するネットワーク全体に必要な数展開するための方式を提案している。これにより、地理的に階層化された動的 Fog においても共有コンテンツの各々が各地域にどれだけ配置すれば良いかの目安を得ることが可能となった。

(3) 複数の通信手段を用いた動的 Fog によるコンテンツ共有

(K. Yoshikawa, S. Sugawara, "Efficient Content Sharing Using Dynamic Fog in Cloud-Fog-Edge Three-Tiered Network," Proc. 16th International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS2022/VENOA2022), Springer, pp.517-

動的 Fog を形成する各端末が、複数の通信方式を併用できる場合に、効率的なデータ交換による円滑なコンテンツ共有を行う手法を提案した。この手法は、端末が自らの残存バッテリー容量も考慮し、データ交換の是非を自律的に判断する機能を含んでいる。上記の論文には含まれていないが、京都の市街地をモデルとした地図を作成し、中心街での人の動きに対応して動的 Fog を構成した場合のシミュレーションも行っており、ここでも提案方式の良好な性能を明らかにした。

(4) 簡易固定端末を核とした動的 Fog によるコンテンツ共有システムの設計と実装

(S. Sugawara, "Implementing a Dynamic-Static Hybrid Fog Computing System for Content Sharing on Local Networks," *2024 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, Las Vegas, NV, USA, 2024, pp. 1-4, Jan. 2024.)

最終段階として、これまでに検討した動的 Fog の機能を実装するため、安価なハードウェアを導入してプロトタイプを作成を行っている。動的 Fog はすべての端末をユーザの移動端末で構成するのが望ましいが、最初のステップとして簡易な固定局を用いてこれを核として、周囲の移動端末を束ねる方式としてシステム設計を行った。固定局と動的 Fog を構成する移動体端末、およびサービスを楽しむだけの移動体端末の三者が交換すべき信号とデータからなる独自のプロトコルを設計し、現在もその実装を行っている。最終的な成果も今後公開してゆく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 K. Takahashi, S. Sugawara	4. 巻 Vol. 10, No. 4
2. 論文標題 Efficient In-advance Shared Content Deployment Method Using Popularity Prediction in Hybrid Peer-to-Peer Network with Cloud Storage	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ITE Trans. on MTA	6. 最初と最後の頁 225-233
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 S. T. Aung, N. Funabiki, H. H. Sandi Kyaw, S. Sugawara	4. 巻 なし
2. 論文標題 An implementation of Java programming learning assistant system platform using node.js	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. 2022 10th International Conference on Information and Education Technology	6. 最初と最後の頁 47-52
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 該当する
1. 著者名 K. Takahashi, S. Sugawara	4. 巻 なし
2. 論文標題 In-advance Content Deployment Using Popularity Approximation in Hybrid P2P Cloud Storage	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. 2022 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW2022)	6. 最初と最後の頁 なし
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 K. Yoshikawa, S. Sugawara	4. 巻 なし
2. 論文標題 Efficient Content Sharing Using Dynamic Fog in Cloud-Fog-Edge Three-Tiered Network	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. 16th International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS2022/VENOA2022)	6. 最初と最後の頁 517-527
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 T. Kikuchi, T. Akiba, S. Sugawara	4. 巻 なし
2. 論文標題 Efficient Query Guidance Using Content Distribution Records in Unstructured Peer-to-Peer Network	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. The 4th International Conference on Computer Communication and the Internet (ICCCI2022)	6. 最初と最後の頁 196-202
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 H. Htet, N. Funabiki, A. Kamoyedji, X. Zhou, X. Xiang, S. Sugawara, W-C. Kao	4. 巻 なし
2. 論文標題 An implementation of job running backup function in user-PC computing system	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. The 4th International Conference on Computer Communication and the Internet (ICCCI 2022)	6. 最初と最後の頁 156-161
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 該当する

1. 著者名 T. Akiba, T. Kikuchi, S. Sugawara	4. 巻 なし
2. 論文標題 Improvement and Evaluation of Query Guidance Method Focusing on Content Transmission Record Assignment Time in Unstructured Peer-to-Peer Network	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. The 10th International Conference on Computer and Communication Management (ICCCM2022)	6. 最初と最後の頁 なし
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 H. Nakazawa, K. Koyama, S. Sugawara	4. 巻 なし
2. 論文標題 Efficient Content Sharing Using Multi-Cloud Storage with Selective RAID-like Chunk Retention Control	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. The International Conference on Engineering Management and Sustainable Innovative Technology (ICEMSIT2022)	6. 最初と最後の頁 なし
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 T. Shimizu, S. Sugawara	4. 巻 なし
2. 論文標題 Improved Method of Reliable Content Extraction from Partially Unreliable Publications in Plural Number of Sources over the Network	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. 2023 11th International Conference on Inoformation and Education Technology (ICIET2023)	6. 最初と最後の頁 なし
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 K. Takahashi, S. Sugawara	4. 巻 なし
2. 論文標題 In-advance Deployment of Shared Content Replicas over Hybrid Peer-to-Peer Network Using Linear Popularity Prediction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. 2021 9th International Conference on Information and Education Technology (ICIET2021)	6. 最初と最後の頁 なし
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 K. Takahashi, S. Sugawara	4. 巻 なし
2. 論文標題 A Content Prepositioning Using Popularity Prediction in Hybrid Peer-to-Peer Network with Cloud Storage	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. 2021 3rd International Conference on Computer Communication and the Internet	6. 最初と最後の頁 130-135
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 T. Itokazu, S. Sugawara	4. 巻 なし
2. 論文標題 Dynamic Fog Configuration for Content Sharing with Peer-to-Peer Network Using Mobile Terminals in a City	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. the 12th International Workshop on Virtual Environment and Network-Oriented Applications	6. 最初と最後の頁 なし
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 T. Itokazu, S. Sugawara	4. 巻 なし
2. 論文標題 Adaptation to Changes in the Number of Users in P2P Content Sharing System Using Dynamic Fog	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. 2021 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan	6. 最初と最後の頁 なし
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 114.H. Niitsuma, S. Sugawara	4. 巻 なし
2. 論文標題 An Efficient Sharing of Docker Environments with Updating and Expanding over a Hybrid Peer-to-Peer Network	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. 5th International Conference on Computer Communication and the Internet	6. 最初と最後の頁 94-98
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 115.T. Sanno, K. Yamaki, S. Sugawara	4. 巻 なし
2. 論文標題 A Consistency Preservation Method for Content Sharing in Peer-to-Peer Network Using CCN Control	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. 2023 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan	6. 最初と最後の頁 なし
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 S. Sugawara	4. 巻 なし
2. 論文標題 A Concept of Content Sharing System in Dynamic Equilibrium over a Large-Scale Network	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. 8th International Conference on Consumer Electronics Asia	6. 最初と最後の頁 なし
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 S. Sugawara	4. 巻 なし
2. 論文標題 Implementing a Dynamic-Static Hybrid Fog Computing System for Content Sharing on Local Networks	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proc. 2024 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICCE59016.2024.10444138.	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 -

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 三野峻輝, 菅原真司
2. 発表標題 CCN 制御を用いたピュア型 Peer-to-Peer ネットワークにおける コンテンツ共有の効率化
3. 学会等名 電子情報通信学会 CS研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 新妻広隆, 菅原真司
2. 発表標題 複数の Docker 環境の展開のためのハイブリッド型 P2P ネットワークを用いた効率的な複製配置
3. 学会等名 電子情報通信学会 CS研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shinji Sugawara
2. 発表標題 A Concept of Content Sharing System in Dynamic Equilibrium over a Large-Scale Network
3. 学会等名 2023 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Asia (ICCE-Asia) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 新妻広隆, 菅原真司
2. 発表標題 Docker環境の複製と配置のためのビルドプロセスの効率化
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 高橋 和正
2. 発表標題 クラウドストレージを併用したP2Pネットワークにおける人気変動予測を用いたコンテンツ事前配置手法の評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋 和正
2. 発表標題 P2P ネットワークとクラウドを用いたコンテンツ需要予測に基づく動的複製配置手法
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 2022年

1. 発表者名 高橋 和正
2. 発表標題 クラウドを併用したP2Pネットワークにおける人気変動予測とコンテンツサイズを考慮した複製配置手法
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2022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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------