

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：32692  
研究種目：基盤研究(C)（一般）  
研究期間：2019～2021  
課題番号：19K11910  
研究課題名（和文）クラウド間連携と仮想化ファンクション集約による計算資源の有効利用に関する研究

研究課題名（英文）Effective Resource Utilization by Virtualized Service Function Clustering in Multiple Clouds

研究代表者  
金光 永煥（KANEMITSU, Hidehiro）  
東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・講師

研究者番号：60434362  
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、クラウドといった仮想環境どうしが連携して、IoTで用いられる複雑な構成をもつアプリケーションを効率よく処理するための処理機構を開発した。開発したアルゴリズムは、コンテナで具現化されたタスクどうしが互いに通信を必要とするものであり、必要コンテナ数、計算資源数をできるだけ抑えた上で応答時間を最小化するものである。今後の仮想化環境において任意の構造を持つアプリケーションを効率よく処理するための基盤技術を提示するものとなった。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、主にIoTの処理基盤において少ない計算資源及び処理資源で効率よく処理するための自動制御技術を提示したことである。また、任意の構造を持つアプリケーションに対して適用可能であるため、その適用範囲は広い。例えば動画処理を仮想化環境で効率よく処理できる。そのため、その環境を利用するユーザにとって、これまでの金銭的コストをより抑えることができると考えられる。資源の有効利用により、単位時間あたりより多くのアプリケーションを処理できることになるため、処理スループットが上がる。そのため、仮想化環境の運用側・利用側双方にとって利益を享受することが可能となる。

研究成果の概要（英文）：We established a parallel processing scheme to efficiently execute any kinds of application for IoT, where multiple cloud sites collaboratively communicate each other. In our developed container-based scheduling scheme, the objectives are to minimize the response time with making the number of both containerized tasks and computational resources reduced as far as possible. As a result, we conclude that a scheme to efficiently utilize both computational and processing resources has been established.

研究分野：並列分散処理

キーワード：スケジューリング ワークフロー クラウド 仮想化 タスククラスタリング コンテナ

## 1. 研究開始当初の背景

企業戦略, 人間行動による実時間情報, IoT デバイスからのセンサ情報等の大容量データを分析して, いかにして新たな知見や有意義な結果を抽出するかは, 日常生活をより豊かなものにする上で重要である. そのためには, 高度な分析アルゴリズムの開発, 及びアルゴリズムを高速に処理するための基盤, そしてこれら計算基盤を有効利用するための仕組み, 例えば仮想化技術が挙げられる. 近年では, 計算基盤だけでなく, ルータやファイアウォール等のネットワーク機能(ファンクション) そのものを仮想化し, ソフトウェアとして配布可能とする NFV(Network Function Virtualization) が, 専用ハードウェアを導入する必要がなくなるという点で, 注目を集めている. NFVの中で, 各ファンクションを連携させることを SFC(Service Function Chining) というが, チェイン内の各ファンクションをどの計算資源へ割り当てるかという, 仮想化ファンクション割り当て問題は, SFC における主要な課題の一つである. この課題に関する既存手法では, 主に最適化に基づいたものが多い. 例えば可変近傍探索や線形計画問題に基づいて SFC の各ファンクションの割り当て先を決定する手法 [M. C. Luizelli et al., 2017, T. W. Kuo et al., 2016, M. Ghaznavi et al., 2017], ファンクションと割り当て先ホストの全ての組み合わせの中から, 割り当て先ホスト全ての処理容量, 帯域幅を超えないものを走査により決定する CoordVNF[M. T. Beck et al., 2017] 等があり, 稼働可能な VM 数の上限を無視して求解に膨大な計算量・時間を要するため, 実用的な手法とは言えない. また, データフロー処理用プラットフォームである FogFlow[B. Cheng et al., 2018] では, Docker イメージにファンクションを組み込み, 互いに近いノード同士でファンクションを呼び出す. すなわちデータの局所性のみを考慮しており, ノードの処理容量の制約や応答時間の最小化は考慮されていない. 以上から, 現状の SFC において, VM 数を抑えつつ現実的な時間内に適切なファンクション割り当てを行う手法は確立されていない.

## 2. 研究の目的

現状の仮想化ファンクションの割り当て手法では, SFC によって割り当て先決定に要する時間や, 割当先の適切性が保証されない. そこで, 解決すべき課題は, 以下の点である.

- ・ SFC の規模や SFC 数の増大に依らずに現実的な時間内で解が求まり, かつ少ない VM インスタンス数で応答時間を小さくするための, 仮想化ファンクション割り当て先決定アルゴリズムが確立されていないこと.
- ・ CCN を用いた hop by hop による通信機構による仮想化ファンクション割当アルゴリズムは確立されていないこと.

上記の課題を解決するため, 本研究の目的は以下の点である.

目的 1: 計算資源の有効利用と応答時間を最小化を両立させる, 仮想化ファンクション割り当てアルゴリズムの確立

目的 2: SFC 内の各仮想化ファンクションを位置透過的に呼び出して実行するために, コンテンツ指向ネットワーク (CCN: Contents Centric Networking) による通信機構の設計・実装及び実用性の検証

## 3. 研究の方法

上記 2 つの目的を達成するための基盤となる技術は, コンテナ化された処理単位 (タスク) をクラスタリングし, そしてタスク間の通信を局所化しつつも実行並列度を落とさないようなタスク割り当て・スケジューリング手法の確立である. 本研究課題は, sharable functional task clustering for utilizing virtualized resources (SF-CUV) というアルゴリズムを開発した [1]. SF-CUV アルゴリズムでは, タスクインスタンスを効率よく計算資源間で共有し, かつ応答時間を最小化することを狙ったタスクスケジューリングアルゴリズムである. 図 1 に, SF-CUV アルゴリズムの概要を示す. SF-CUV アルゴリズムは 2 つのフェーズから構成される. まずフェーズ 1 では, タスクどうしをクラスタリングする. ここで vCPU 数を増やさず, かつ応答時間を最小化するためのクラスタリング優先度を用いて, 各タスクの割当先 vCPU を決定させる. そして, フェーズ 2 では, 各 vCPU の占有率が指定した値を超えないという条件の元で各タスクが, タスクのインスタンスを効率よく共有し, かつ応答時間がさらに小さくできるように割当先 vCPU の変更といった調整を行う. その結果, 割り当て vCPU 数, タスクインスタンス数を抑えつつ, 応答時間を最小化することができる.

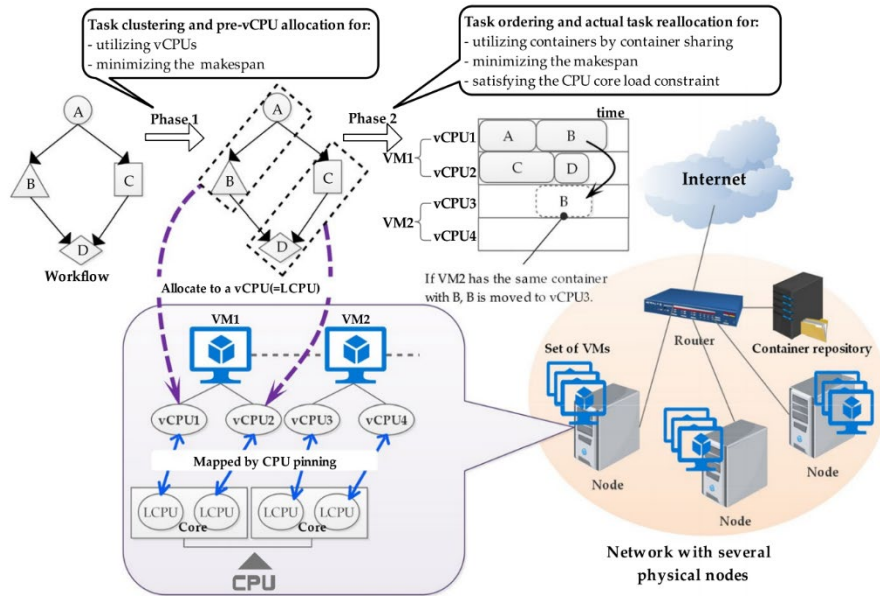


図1. SF-CUV アルゴリズムの概要

#### 4. 研究成果

図2に、画像処理である Montage Workflow における応答時間の比較結果を示す。図中(a)において、SF-CUV は提案手法、SLR は応答時間、CCR(Communication to Computation Ratio)は、Workflow におけるタスク間の平均通信時間の平均処理時間に対する比率である。CCR が大きな Workflow であるほど、応答時間は総じて大きくなるが、いずれの CCR においても SF-CUV は応答時間が小さくなっている。(b)では、処理する Workflow 数を増やした場合の応答時間の比較結果であるが、いずれの Workflow 数でも SF-CUV が最も応答時間が良いという結果が得られた。

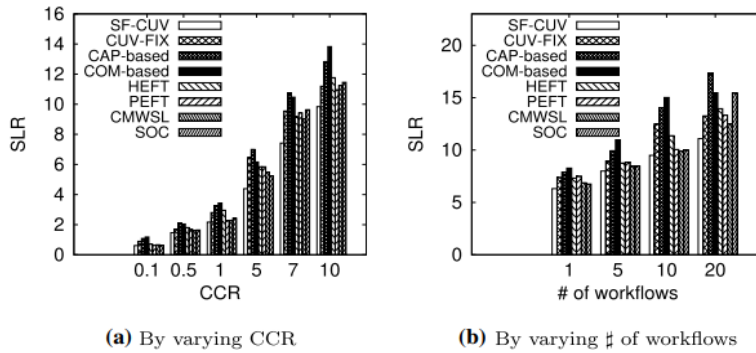


図2 Montage Workflow における応答時間の比較結果

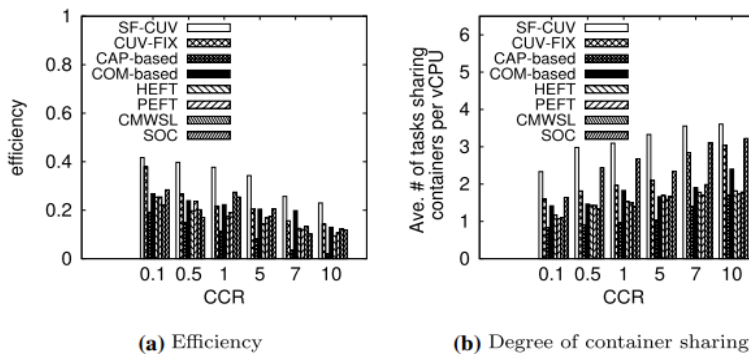


図3. Montage Workflow における計算資源及び処理機能の有効利用度

図 3 に、計算資源及び処理機能がどの程度有効利用されているかに関する比較結果を示す。(a)の **Efficiency** は、1vCPU あたりの速度向上率である。いずれの CCR においても、**SF-CUV** の **Efficiency** が最も良いという結果が得られた。一方、(b)は、1 処理機能あたりの共有数を示す。いずれの CCR においても、**SF-CUV** の場合が最も処理機能が共有されていることが分かる。

以上の結果より、開発した処理機能の分散配置アルゴリズム **SF-CUV** は、少ない計算資源、処理機能で応答時間を小さくできることがわかった。

#### 参考文献

- [1] H. Kanemitsu, K. Kanai, J. Katto, and H. Nakazato, “A containerized task clustering for scheduling workflows to utilize processors and containers on clouds,” *The Journal of Supercomputing*, vol. 77, pp.12879-12923, Springer, 2021, doi: 10.1007/s11227-021-03789-2

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hidehiro Kanemitsu, Kenji Kanai, Jiro Katto, and Hidenori Nakazato	4. 巻 77
2. 論文標題 A containerized task clustering for scheduling workflows to utilize processors and containers on clouds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Supercomputing	6. 最初と最後の頁 12879-12923
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11227-021-03789-2	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

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Hidehiro Kanemitsu
2. 発表標題 Toward autonomous container-based task scheduling for efficient IoT processing
3. 学会等名 7th International Conference on Electronics, Electrical Engineering, Computer Science (EEECS2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hidehiro Kanemitsu, Kenji Kanai, Jiro Katto, and Hidenori Nakazato
2. 発表標題 Function Clustering Algorithm for Resource Utilization in Service Function Chaining
3. 学会等名 in Proc. IEEE International Conference on Cloud Computing 2019 (IEEE CLOUD2019), pp. 193-195, July, 2019. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidehiro Kanemitsu, Masaki Hanada, and Hidenori Nakazato
2. 発表標題 Multiple Workflow Scheduling with Offloading Tasks to Edge Cloud
3. 学会等名 Lecture Notes in Computer Sciences (Proc. CLOUD2019), pp. 38-52, Springer, June, 2019. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金光 永煥, 花田 真樹, 金井 謙治, 中里 秀則
2. 発表標題 ワークフローにおけるICNを用いたファンクションチェイニング
3. 学会等名 信学技報, vol. 119, no. 461, IN2019-120, pp. 249-254, 2020年3月.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金光 永煥, 金井 謙治, 甲藤 二郎, 中里 秀則
2. 発表標題 ファンクション集約によるサービスファンクションのスケジューリング
3. 学会等名 信学技報, CS2019-47, Vol. 119, No. 196, pp. 1 - 4, 2019年9月.
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

SFLOW <a href="https://github.com/ncl-teu/SFLOW">https://github.com/ncl-teu/SFLOW</a> ICN-SFCSim <a href="https://github.com/ncl-teu/ncl_icn_sfcsim">https://github.com/ncl-teu/ncl_icn_sfcsim</a>
---

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	花田 真樹  (HANADA Masaki)  (40373039)	東京情報大学・総合情報学部・教授    (32515)	

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
---------	---------