

# モバイルエッジ環境に適したコンテナスケジューリングアルゴリズムの提案

2019SE056 高橋亜周末

指導教員：宮澤元

## 1 はじめに

IoT(Internet of Things)の普及に伴い、エンドデバイスが収集したデータをその近くのエッジサーバを用いて処理するエッジコンピューティング技術に注目が集まっている。特に、エンドデバイスの位置が移動するモバイルエッジ環境では、エッジサーバ上のコンテナを再配置するためのスケジューリングアルゴリズムが重要である [1]。エンド・エッジ間のネットワーク的な距離が変動した場合、エッジサーバ上のコンテナをより近くの別のエッジサーバに再配置することで、エンド・エッジ間の通信レイテンシを抑えることができる。

一方、既存のコンテナオーケストレータの多くは、デバイスのモビリティや配置済みコンテナの再配置を考慮していない。また、エッジデバイスにはリソースやポリシー、エネルギー消費量などの様々な特性があり、これらもコンテナスケジューリングにおいて考慮すべきである。

本研究の目的は、モバイルエッジ環境においてデバイスのエネルギー消費量とともにエンド・エッジ間の通信レイテンシを抑えることである。エネルギー消費量を抑えることでデバイスのバッテリー消費を改善し、通信レイテンシを抑えることでデータ処理の応答時間を改善できる。

本稿では、通信レイテンシとエネルギー消費量を考慮して配置済みコンテナを再配置するスケジューリングアルゴリズムを提案する。提案アルゴリズムでは、コンテナのエネルギー消費の大小が通信によるエネルギー消費を反映していると仮定して、コンテナごとのエネルギー消費量の大小に基づきコンテナ再配置の優先順位決定をした後、通信レイテンシの観点からスケジューリングを行う。

研究課題は、エネルギー消費量を利用した新しいスケジューリングアルゴリズムの提案と、シミュレーションによる有効性の検証である。

## 2 関連研究

コンテナスケジューリングを行う既存のコンテナオーケストレータとして、Kubernetes や Docker Swarm がある。Kubernetes のスケジューリングでは、より処理が速く、帯域幅が大きく、利用可能なリソースが大きいノードに優先してコンテナが配置される [2]。Docker Swarm のスケジューリング機能の 1 つであるスプレッドストラテジーは、仕事量の少ないノードに新しいコンテナを配置することで、低レイテンシを実現している [3]。これらのコンテナスケジューリングでは、デバイスのモビリティや既存コンテナの再配置については考慮していない。

既存コンテナの再配置を考慮した研究として、[4]では、ユーザとエッジノード間の通信レイテンシに注目し、コンテナスケジューラの実装と評価を行っているが、モビリティについては検討されていない。また、デバイスにモビリティがある場合のコンテナ再配置の研究としては、[6]がある。この研究では、コンテナ移行時のダウンタイムとネットワーク使用量の 2 点を最小限に抑えるアルゴリズムを提案しているが、デバイスとエッジノード間の通信レイテンシについては考えられていない。したがって、デバイスにモビリティがある場合の通信レイテンシを考慮したスケジューリングアルゴリズムを検討する必要がある。

## 3 スケジューリングアルゴリズムの提案

モバイルエッジ環境において、エッジデバイスのエネルギー消費量と、コンテナからモバイルデバイス間の通信レイテンシを削減するために、コンテナスケジューリングアルゴリズムを提案する。デバイス間の通信は、比較的エネルギーを要する処理であるので、エネルギー消費量の大きいコンテナは通信回数が多く、通信レイテンシも大きいと考えられる。そこで、通信レイテンシに基づいてコンテナ再配置を行う際に、エネルギー消費量の大きいコンテナを優先することで、エッジ環境全体における通信レイテンシを削減することが期待できる。

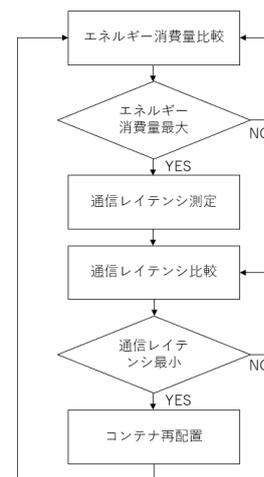


図 1 提案するスケジューリングアルゴリズム

提案スケジューリングアルゴリズムのフローチャートを図 1 に示す。デバイスの全処理に要するエネルギー消費量をコンテナのエネルギー消費量として、エネルギー消費量が最大のコンテナを探索する。このコンテナを対象として

通信レイテンシに基づいて再配置を行う。

## 4 シミュレーション

提案スケジューリングアルゴリズムの効果を示すために、シミュレーションを行う。デバイスのモビリティによる通信レイテンシの値に注目し、提案アルゴリズムによってその値が抑えられていることを確認する。シミュレーションは、提案アルゴリズムを組み込んだ iFogSim2 シミュレータ [5] を用いて行った。

### 4.1 シミュレーション環境

デバイスは上位層からクラウド 1 台、プロキシサーバ 12 台、ゲートウェイ 118 台、モバイルデバイス 10 台の 4 層とする。モバイルデバイスの位置情報はランダムに変化する。コンテナはゲートウェイ階層にあるものとし、ゲートウェイノード間での再配置を行う。各デバイスの仕様の詳細を表 1 に示す。

表 1 シミュレーションにおけるデバイスの仕様

デバイス	cloud	proxy	gateway	mobile
階層	0	1	2	3
MIPS(MHz)	44800	2800	2800	500
RAM(MB)	40000	4000	4000	20
upBw(Mbps)	100	10000	10000	1000
downBw(Mbps)	10000	10000	10000	270

シミュレーションで実行させるアプリケーションは、iFogSim2 の TranslationService である。これは、モバイルデバイスから得た情報をエッジ環境で収集し解析、保存するアプリケーションである。各デバイスにはモジュールが配置されるが、モビリティによる影響が最も大きいと考えられるのは、モバイルデバイスとゲートウェイ間の通信である。この通信を表すタプル RAW\_DATA について、レイテンシを比較する。

### 4.2 シミュレーション結果

通常時、エネルギー消費量利用時、通信回数利用時の 3 通りのシミュレーションを、10 回ずつ行った。タプル RAW\_DATA の通信レイテンシの値を図 2 に示す。通信

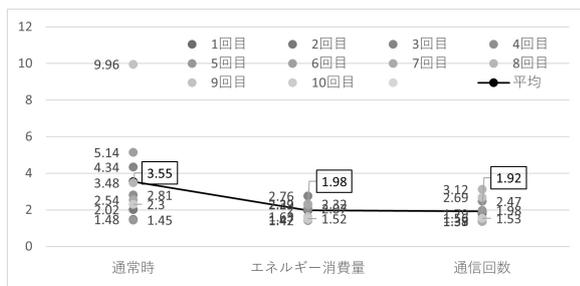


図 2 シミュレーション結果

レイテンシはシミュレーション内の時間であり、平均は通

常時に最大の 3.55 秒、エネルギー消費量利用時に 1.98 秒、通信回数利用時に最小の 1.92 秒となった。

### 4.3 評価

シミュレーション結果から、エネルギー消費量利用時と通信回数利用時は、通常時よりも通信レイテンシが小さくなることがわかった。従って、提案アルゴリズムを利用することで、通信レイテンシの削減が可能になるといえる。一方、エネルギー消費量ではなく、通信回数を優先順位決定に用いたアルゴリズムも提案手法と同等の通信レイテンシ削減効果があった。

## 5 おわりに

本研究では、モバイルエッジ環境において、配置済みコンテナのスケジューリングによってエネルギー消費量と通信レイテンシを抑えることを目的とし、エネルギー消費量を利用した新しいスケジューリングアルゴリズムの提案と、シミュレーションによる有効性の検証を行った。シミュレーションでは、通信レイテンシの平均値について通常時は 3.55 秒、エネルギー消費量利用時は 1.98 秒という結果になり、提案手法の有効性を示すことができた。

今後の課題としては、他のアプリケーションでもシミュレーションを行い、提案アルゴリズムが様々なアプリケーションに対応可能か調査する必要がある。また、提案アルゴリズムをコンテナオーケストレータに組み込む必要がある。

## 参考文献

- [1] O. Oleghe, "Container Placement and Migration in Edge Computing: Concept and Scheduling Models," in *IEEE Access*, vol.9, pp.68028-68043, 2021-05-04.
- [2] 2022 The Kubernetes Authors, "Kubernetes," <https://kubernetes.io/ja/docs/home/> (2022-09-19access).
- [3] 2013-2022 Docker Inc, "Docker Documentation," <https://docs.docker.com/engine/swarm/> (2022-09-19access).
- [4] 七野宏紀, "エッジコンピューティングにおける通信遅延を考慮したコンテナスケジューラ," 2020 年度南山大学理工学部卒業論文, 2021.
- [5] R. Mahmud, et al, "iFogSim2: An Extended iFogSim Simulator for Mobility, Clustering, and Microservice Management in Edge and Fog Computing Environments," in *Journal of Systems and Software*, vol.190, 2022.
- [6] T. Kim, et al, "Optimal Container Migration for Mobile Edge Computing: Algorithm, System Design and Implementation," in *2020 39th Chinese Control Conference (CCC)*, vol.9, pp.158074-158090, 2021-11-30.