

RSU を用いたエッジコンピューティング環境における リソース予約状況を考慮した VM 再配置手法の提案

永元 陽一[†] 横山 和俊[†]

高知工科大学[†]

1. はじめに

近年、自動運転などの先進的な運転支援システムの需要が高まっており、それに伴って車両で処理するアプリケーションが高負荷化している。しかし、車両の計算資源には計算能力や消費電力に限りがあるため、エンドユーザの近くに計算資源を配置することでアプリケーションの遅延軽減や負荷軽減ができるエッジコンピューティングが注目されている。道路に沿って設置した計算資源と車両が通信することで負荷分散を目指す取り組みとして、RSU (Roadside Unit) を用いたエッジコンピューティング環境において、コンテナ応答時間を削減する再配置手法が提案されている。この手法には、次の RSU の通信可能範囲への移動時間が再配置時間よりも小さい場合に再配置が間に合わないという問題がある。本稿では、前倒してリソース予約することで、通信開始時間に再配置を完了させる手法を提案する。

2. 関連研究

RSU は道路上に設置した通信機を用いて車両と通信を行うため通信範囲が限られている。そのため、RSU を用いたエッジコンピューティング環境でアプリケーションの遅延軽減や効率的な負荷分散を行うためには、車両の移動を考慮しアプリケーションを移動させる必要がある。この車両の移動を考慮したアプリケーションの移動の既存研究として、豊田ら [1] によるコンテナの再配置手法がある。この手法では、車両と RSU の通信が切断する時間を予測し、その時刻でコンテナの再配置を開始することでコンテナの応答時間を最小化することを目指している。しかし、既存手法では、以下の問題点がある。

(問題 1) RSU との通信切断時に再配置を開始するが、次の RSU と通信開始するまでの時間がコンテナの再配置時間よりも小さい場合、再配置が間に合わずサービスが受けられない。

(問題 2) 再配置先の計算における計算資源の負

荷には、RSU との通信が切断した時刻の CPU 使用率を使用しており、再配置による負荷や負荷の変化を考慮していない。そのため、サービス提供前のコンテナが多く存在する場合や再配置が同じ RSU に集中した場合に負荷が増加しアプリケーションの処理時間が増加する可能性がある。

そこで本稿では、次の RSU との通信開始時間を予測することによる再配置の前倒しと、再配置にかかる負荷を含めたリソース予約状況を用いて通信時間中の負荷を予測する VM 再配置手法を提案する。

3. 環境モデル

(1) ネットワーク構成

想定する環境モデルを図 1 に示す。ネットワークは RSU、中間局、集約局、データセンタの 4 層構成とする。RSU 同士の通信には集約局や中間局を経由して通信を行う必要があり、RSU r_i から別の RSU r_j への通信遅延を D_{r_i, r_j} とする。

(2) 車両の移動および車両と RSU の通信

各車両は、カーナビゲーションの様に事前に移動経路がわかることを想定している。この移動経路情報をから各 RSU との通信開始時間と通信切断時間を求めることができる。

(3) 計算資源とアプリケーション

RSU が持つ計算能力を P_{cap} とし、この計算能力を 100% 使用した場合のアプリケーション処理時間を T_{app} としアプリケーションの実行に必要なリソース量を P_{res} とする。

(4) リソース管理とリソース予約

各 RSU は時間ごとの使用リソース量を管理しており、時刻 t における RSU r_i のリソース予約状況を $U_{r_i, t}$ とする。車両がアプリケーションを実行する場合は実行先の RSU に対してリソース予約を行う。また、VM 起動による負荷も考慮し再配置中の時刻についてもリソース予約を行う。

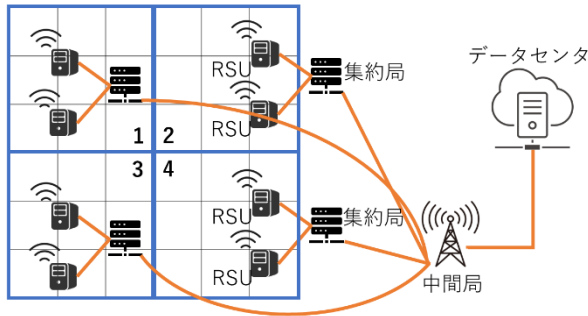


図1 環境モデル

4. 提案手法

4.1. 再配置の前倒し

提案手法では、移動経路情報を用いて各RSUとの通信開始時刻を取得することで、車両とRSUの通信切断時間が再配置時間より小さい場合でも通信開始に間に合うよう再配置を前倒す。このことを、図2を用いて説明する。図2では、車両 v_k は、RSU r_j に時刻 Tb_{v_k,r_j} に到着する。RSU r_j への再配置が時刻 Tb_{v_k,r_j} までに完了するには、再配置時間 T_m 前倒して、時刻 $(Tb_{v_k,r_j} - T_m)$ に再配置を開始する。なお、再配置時間 T_m は、VMの移送に要する時間をVMの起動時間の和である。

4.2. 再配置先選択指標

RSUのリソース使用状況は他の再配置によって変化するため、再配置先を行う時刻でリソースに余裕があったとしても、その後リソースが逼迫する可能性がある。そのため、本手法では通信時間の変化を考慮した平均負荷率を再配置指標として使用する。この平均負荷率から推定平均AP実行時間を求め、この値と通信遅延を合わせた推定平均実行時間が最も小さいRSUに再配置を行う。ある車両 v_k が時刻 t_b から時刻 t_e においてRSU r_m と通信する場合各RSU r_n の平均負荷率、推定平均AP実行時間、推定平均処理時間は以下のように定義する。

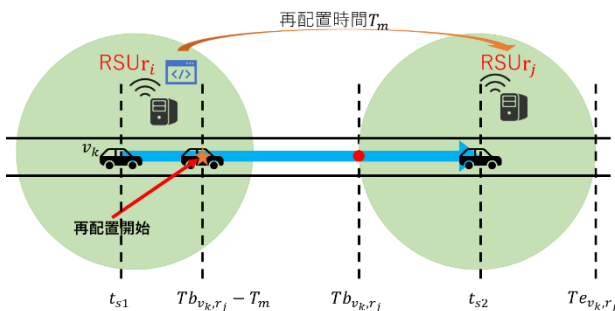


図2 時刻 t_{s1} から時刻 t_{s2} までの経路と到達時間

(1) 平均負荷率

$$L_{r_n}(t_b, t_e) = \frac{\sum_{t=t_b}^{t_e} (P_{cap} - U_{r_m,t}) / P_{cap}}{(t_e - t_b + 1)}$$

(2) 推定平均AP実行時間

$$R_{r_n}^{ap} = T_{ap} * 1 / L_{r_n}(t_b, t_e)$$

(3) 推定平均処理時間

$$R_{r_n}^{run} = R_{r_n}^{ap} + D_{r_m,r_n}$$

4.3. 再配置先選択アルゴリズム

再配置先選択アルゴリズムを以下で説明する。ここでは、時刻 t における車両 v_k が現在通信しているRSUを $r_{v_k,t}^{now}$ 、次に通信するRSUを $r_{v_k,t}^{next}$ とする。時刻 t において $(t + T_m) = Tb_{v_k,r_j}$ となる車両 v_k を再配置対象として、各車両が通信するRSU $r_{v_k,t}^{now}$ の混雑度が高い順に再配置を行う。

<ステップ1> 再配置先計算に必要な指標の収集

[ステップ1-1] 各RSU r_n の時刻 Tb_{v_k,r_i} 、 Te_{v_k,r_i} 間の平均負荷率を収集し、推定AP実行時間を求める。

[ステップ1-2] $r_{v_k,t}^{next}$ から各RSUへの通信遅延を収集する。

<ステップ2> 再配置RSUの選出

[ステップ2-1] 各RSUの推定平均AP実行時間と通信遅延を足し推定平均処理時間を求める。全てのRSUの中で推定実行時間が最も小さいRSUを再配置先とする。

<ステップ3> リソース予約

再配置先RSUに対して、時刻 t から時刻 $(Tb_{v_k,r_i} - 1)$ まではVM起動中として要求リソース量 $P_{res}/2$ 、時刻 Tb_{v_k,r_i} から Te_{v_k,r_i} までは要求リソース量 P_{res} でリソース予約を行う。

5. おわりに

本稿では、リソース予約による通信時間中の負荷予測と、VMの起動負荷を考慮した再配置を通信開始時間に間に合うよう前倒して開始する手法を提案した。今後は、シミュレーションを用いて本手法の有用性を評価する。

参考文献

[1] 豊田睦, 佐竹颯太, 武藤晟, 重野寛: "Vehicular Edge Computingにおけるコンテナ応答時間を削減するためのコンテナ再配置手法", 情報処理学会論文誌 Vol. 63, No2, pp. 588-596 (2022).