

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

1255113 永元 陽一 【分散処理 OS 研究室】

A VM Relocation Method Considering Resource Reservation Status in Edge Computing Environment Using RSUs

1255113 Yoichi Nagamoto 【 Distributed System and Operating System Lab. 】

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し、アプリケーションの遅延や負荷を軽減す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である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 [1] が提案されている。この手法では、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小さい場合、再配置が間に合わない。また、再配置先の計算における計算資源の負荷には、RSUとの通信が切断了時刻のCPU使用率を使用して再配置による負荷や負荷の変化を考慮していない。そこで本研究では、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。

2 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。この移動経路情報から各RSUとの通信開始時刻と通信切断時刻を求めることが

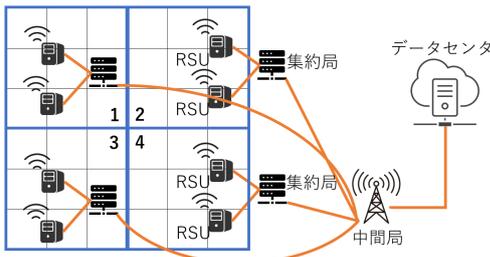


図1 環境モデル

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_{ap} 、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間についてもリソース予約を行う。

3 提案手法

3.1 目的関数

車両 v_k がマップ内でRSUと t_{total} 秒通信した時、時刻 t のアプリケーション処理時間(以降は処理時間)は式(1)で求めるとし、 t_{total} 秒分の平均処理時間 $R^{ave}(v_k, t_{total})$ は式(2)で求めるとする。提案手法では、RSUと通信開始時刻からアプリケーションが処理できるまでの遅延時間(以降は開始遅延) D_{wait} を0にし、目的関数 $R^{ave}(v_k, t_{total})$ を小さくすることを目指す。

$$f(r_i, v_k, t) = T_{ap} * P_{cap} / (P_{cap} - U_{r_i,t}) + D_{r_i,r_j} \quad (1)$$

$$R^{ave}(v_k, t_{total}) = \sum_{t=1}^{t_{total}} f(r_i, v_k, t) / t_{total} \quad (2)$$

3.2 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。

3.3 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、再配置を行う時刻でリソースに余裕があった

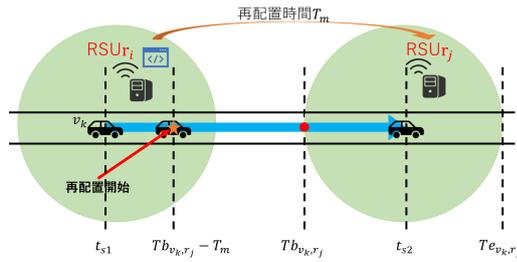


図2 時刻 t_{s1} から時刻 t_{s2} までの経路と到達時間

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中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 (3), 推定平均 AP 実行時間 (4), 推定平均処理時間 (5) は以下のように定義する。

$$L_{r_n}(t_b, t_e) = \frac{\sum_{t=t_b}^{t_e} (P_{cap} - U_{r_m, t}) / P_{cap}}{t_e - t_b + 1} \quad (3)$$

$$R_{r_n}^{ap} = T_{ap} / L_{r_n}(t_b, t_e) \quad (4)$$

$$R_{r_n}^{run} = R_{r_n}^{ap} + D_{r_m, r_n} \quad (5)$$

3.4 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 $(t + T_m) = T_{b_{v_k, r_j}}$ 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 $T_{b_{v_k, r_i}}, T_{e_{v_k, r_i}}$ 間の平均負荷率を収集し、推定 AP 実行時間を計算。
 - [ステップ 1-2] $r_{v_k, t}^{next}$ から各 RSU への通信遅延を収集。
- <ステップ 2> 再配置 RSU の選出
 - 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計算。全ての RSU の中で推定実行時間が最も小さい RSU を再配置先を決定。
- <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 $(T_{b_{v_k, r_i}} - 1)$ までは VM 起動中として要求リソース量 $P_{res}/2$, 時刻 $T_{b_{v_k, r_i}}$ から $T_{e_{v_k, r_i}}$ までは要求リソース量 P_{res} でリソースを予約。

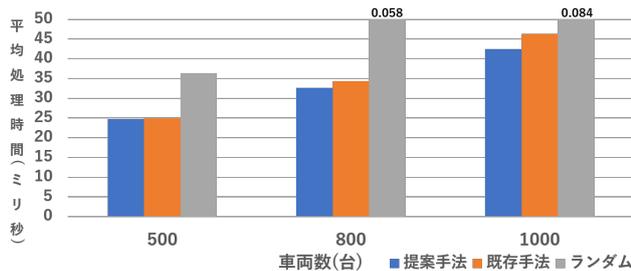


図3 平均処理時間

表1 シミュレーションのパラメータ

RSU のリソース量	車両 10 台分
再配置にかかる時間	10 秒
計算能力 100%の時の ap 実行時間	0.01 秒
RSU の通信可能範囲	半径 80m
配置する RSU の数	60 台
車両数	500, 800, 1000 台

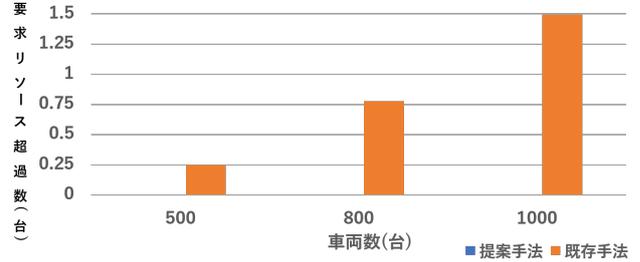


図4 要求リソース超過台数

4 評価

提案手法および比較手法のアルゴリズムを実装し、再配置のシミュレーションを行う。格子状のマップに通信範囲が重ならないように RSU をランダムに配置し、走行シミュレータ SUMO を用いて車両の移動や RSU と車両の通信のシミュレーションを行う。シミュレーションのパラメータを表 1 に示す。比較手法は、既存手法を参考に通信切断時刻から再配置を行う手法 (以降は既存手法), ランダム選択手法を使用する。

図 3 に平均処理時間, 図 4 に要求リソース超過数を示す。図 3 から、平均処理時間は車両が 500 台のときは差が小さいものの、車両数が増えるにつれて提案手法が最も短くなる。また図 4 から、既存手法は要求リソースが偏り一部の RSU でリソースが超過していることが確認できる。これは、既存手法が通信切断時刻の負荷で再配置先を決めるため、一部の RSU に再配置が偏ることで要求リソースの超過が発生していると考えられる。これに対し、提案手法は、通信時間中の負荷を考慮するため要求リソースの超過が発生せず、通信時間中の効率が最も良い RSU でアプリケーションを処理できる。よって、提案手法の方がリソースを効率よく利用でき平均実行時間が小さくなったと考えられる。

5 おわりに

本研究では、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、シミュレーションを用いて本手法の有用性を評価した。

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).