

# フォグコンピューティングにおける ジョブ割り振り戦略の定量的評価

森 友哉<sup>†</sup>

宇都宮 陽一<sup>‡</sup>

田 学軍<sup>†</sup>

奥田 隆史<sup>†</sup>

愛知県立大学 情報科学部 情報科学科<sup>†</sup> 愛知県立大学 大学院 情報科学研究科<sup>‡</sup>

## 1 はじめに

IoT (Internet of Things) の普及により、多様なデバイスから多様なトラフィックが発生し、トラフィック量が増加している [1]。トラフィック量の増加により、クラウドサーバに多大な負荷が集中的にかかり、現在の**クラウドコンピューティング** (図 1 左参照) では低遅延やリアルタイム性の実現が困難になることが危惧されている [2]。

この問題のソリューションとして、Cisco Systems, Inc. [3] は**フォグコンピューティング**と呼ばれるクラウドの負荷分散処理を目的とした処理形態を提案した (図 1 右参照) [4]。この処理形態はクラウドコンピューティングの発展型で、中間層に**フォグ層**と呼ばれる分散処理環境を持つ。フォグ層を構成する**フォグノード**は、センサーデバイスなどを含むエッジデバイス層から様々な処理要求等 (以下、**ジョブ**) を受信し、ジョブに応じて、フォグノード自身で処理を完結させるか、クラウド層へ割り振る。本研究では、この処理を**ジョブ割り振り**と呼び、ジョブ割り振りの戦略を**ジョブ割り振り戦略**と呼ぶ。我々の研究グループは文献 [5] において、“様々なジョブを受信後、ジョブ割り振りをおこなう、ジョブに応じて異なる処理能力を持つサーバで処理する過程”を、VCHS (Various Customers, Heterogeneous Servers) 型待ち行列モデルで表現し、その性能評価により、一定量のトラフィックに対しては、“処理に要する時間が短いジョブをフォグ層で処理する”ジョブ割り振り戦略が効果的であることを示した。

本稿では、ジョブ量の増加に対しても、クラウドの負荷分散や低遅延等の実現に有効な、フォグ層におけるジョブ割り振り戦略を明らかにする。以下、第 2 節で想定環境について述べる。第 3 節で VCHS 型待ち行列モデルで想定環境を表現する。第 4 節でシミュレ-

ーション結果から、ジョブ割り振り戦略の効果について考察する。最後に第 5 節でまとめと今後の課題を述べる。

## 2 想定環境

本稿では、エッジデバイス層が送信するジョブ量が増加したときの対処方法として、

- (I) クラウドサーバの処理能力を増加したクラウドコンピューティング、
- (II) フォグ層を導入しジョブ割り振りをおこなうフォグコンピューティング、

の二つを想定する (図 1 参照)。以下、各層の詳細を述べる。

**<エッジデバイス層>** この層はジョブを、対処方法 (I) のときクラウド層へ送信し、対処方法 (II) のときフォグ層へ送信する。この層から送信されるジョブは、(a) **処理時間**、(b) **許容待ち時間**、の二つの属性を持つ。(a) は処理率が 1.0 であるサーバが、そのジョブの処理に要する時間を表す。(b) はそのジョブが許容できる**待ち時間**を表す。ただし待ち時間は、システム到着からジョブ割り振り後に、フォグノードまたはクラウドサーバで処理を受けるまでの時間を指すものとする。属性 (a), (b) の長さは、それぞれ {短, 中, 長} の三段階あるものとする。これらの組合せから 3×3 通りのジョブがエッジデバイス層から送信される。

**<フォグ層>** この層はフォグノード 1 台から構成され、対処方法 (II) のときのみ存在する。フォグノードはジョブ受信後、ジョブ割り振り戦略に従って、ジョブ割り振りをおこなう。ただし本稿では、“処理に要する時間が短いジョブをフォグ層で処理する”ジョブ割り振り戦略に従うものとする。具体的には、ジョブが持つ処理時間を検出し、フォグノードが持つ閾値と比較する。そして処理時間が閾値以下であればフォグノード自身で処理を完結する。そうでない場合はクラウド層にジョブの処理を割り振る。

**<クラウド層>** クラウドサーバはジョブ受信後、そのジョブの処理を完結させる。ただし、ジョブがクラウド層に届くまでに伝送遅延が発生するものとする。

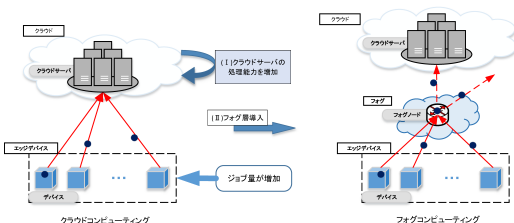


図 1 想定環境

Quantitative Evaluation of Job Assignment Strategy on Fog Computing

<sup>†</sup>Tomoya MORI, Xuejun TIAN, Takashi OKUDA

<sup>‡</sup>Yoichi Utsunomiya

<sup>†</sup>Department of Information Science and Technology, Faculty of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

<sup>‡</sup>Graduate school of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

## 3 VCHS 型待ち行列モデル

本稿では対処方法 (I), (II) を、それぞれ図 2, 3 に示す VCHS 型待ち行列モデルで表現した。なおフォグノー

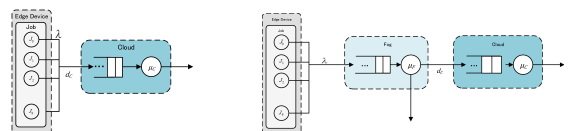


図 2 対処方法 (I) のモデル 図 3 対処方法 (II) のモデル

表1 ジョブと属性の長さの対応

属性	ジョブ								
	$J_0$	$J_1$	$J_2$	$J_3$	$J_4$	$J_5$	$J_6$	$J_7$	$J_8$
(a)	短	短	短	中	中	中	長	長	長
(b)	短	中	長	短	中	長	短	中	長

ドとクラウドサーバの各バッファ長を  $\infty$  とした。以下、モデルの詳細を各層ごと述べる。

**＜エッジデバイス層のモデル＞** この層はジョブを、対処方法 (I) のときクラウド層へ、対処方法 (II) のときフォグ層へ、平均送信間隔  $\lambda^{-1}$  の指数分布に従って送信する。この層から送信される  $3 \times 3$  通りのジョブを  $J_i$  ( $i = 0, \dots, 8$ ) とする。 $J_i$  が持つ属性の長さを表1にまとめた。ジョブの長さ {短, 中, 長} の (a), (b) は、それぞれ平均  $\{h_s, h_m, h_l\}$ ,  $\{w_s, w_m, w_l\}$  の指数分布に従うものとする。

**＜フォグ層のモデル＞** フォグノードはサービス規律 FIFO (First In First Out) にしたがってジョブ割り振りをおこなう。ジョブ割り振りに要する時間は、ジョブの処理完結に要する時間に比べて非常に短く、無視できるものとする。フォグノード自身でジョブ  $J_i$  の処理を完結させるとき、処理完結にかかる時間 = ( $J_i$  が持つ処理時間) / (処理率  $\mu_F$ ) である。

**＜クラウド層のモデル＞** クラウドサーバはサービス規律 FIFO にしたがってジョブ  $J_i$  を処理率  $\mu_C$  で処理する。このとき、処理完結にかかる時間 = ( $J_i$  が持つ処理時間) / (処理率  $\mu_C$ ) である。ただしジョブ  $J_i$  は、エッジデバイス層またはフォグ層からクラウド層に届くまでに、伝送遅延  $d_C$  を受けるものとする。この伝送遅延  $d_C$  は平均  $m$ , 標準偏差  $\sigma$  の正規分布に従うものとする。

4 シミュレーションによる結果と考察

ジョブ量の増加に対しても、ジョブ割り振り戦略が有効か検証するために、対処方法 (I), (II) の2通りのシミュレーションをおこなう。シミュレーション条件を表2に示す。本稿では、エッジデバイス層が送信するジョブ量が10%増加したと仮定し、対処方法 (I) ではクラウドサーバの処理率を10%増加させ、対処方法 (II) ではクラウドサーバの10%の処理率を持つフォグ層を導入するものとした。ジョブ量増加前のクラウドサーバの処理率は  $\mu_C = 4.0$  としたため、各対処方法における合計処理率は4.4となる。また対処方法 (II) のジョブ割り振り戦略で用いるフォグノードが持つ閾値は2.0とした。

各シミュレーションでは、**ジョブの要求に対する遅延度  $D (= D_s + D_w)$**  を求める。 $D_s, D_w$  はそれぞれジョブの要求に対する**処理時間遅延度**, **待ち時間遅延度**を表し、以下の式 (1) で求める。

$$D_s = \frac{\text{システム滞在時間}}{\text{平均処理時間 } \{h_s, h_m, h_l\}}, D_w = \frac{\text{待ち時間}}{\text{平均許容待ち時間 } \{w_s, w_m, w_l\}} \quad (1)$$

なお、評価指標はシミュレーションを10回実行の上、算出する。シミュレーションには離散事象シミュレーションパッケージ Csim20[6] を使用した。

シミュレーション結果を図4, 5および表3に示す。 $D$  の平均は  $\lambda = 0.8$  を超えると、低処理率のフォグノー

表2 シミュレーション条件

項目	記号	数値
ジョブ増加前のジョブの平均送信間隔	$\lambda^{-1}$	$\{0.55^{-1}, 0.60^{-1}, \dots, 0.85^{-1}\}$
平均処理時間	$\{h_s, h_m, h_l\}$	$\{1.0, 5.0, 9.0\}$
平均許容待ち時間	$\{w_s, w_m, w_l\}$	$\{1.0, 5.0, 9.0\}$
ジョブ増加後の処理形態の合計処理率	-	4.4
クラウドに届くまでに生じる遅延 $d_F$ の平均	$m$	3.0
クラウドに届くまでに生じる遅延 $d_F$ の標準偏差	$\sigma$	0.6
$3 \times 3$ 通りのジョブの量比	-	一様
処理するジョブの量の合計	-	100 万個
フォグノードが持つ閾値	-	2.0

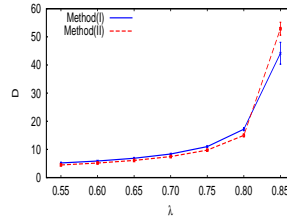


図4 D の平均と 95%信頼区間

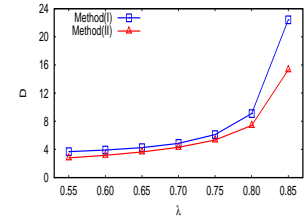


図5 D の中央値

表3 D の最小値, 最大値, 分散

$\lambda$	対処方法 (I)			対処方法 (II)		
	最小値	最大値	分散	最小値	最大値	分散
0.55	0.17392	104.87803	29.22526	0.00005	116.02637	27.81357
0.60	0.19876	118.85164	40.51101	0.00004	133.20239	38.64231
0.65	0.18403	142.90696	59.71736	0.00004	156.91641	56.69654
0.70	0.20852	170.40672	95.68124	0.00005	205.44535	90.59576
0.75	0.21596	220.30241	178.27095	0.00005	279.54932	170.57947
0.80	0.23853	317.58842	472.05690	0.00005	451.74195	500.10300
0.85	0.27337	689.44797	3509.78050	0.00009	1352.43154	9661.13098

ドを用いず、一つの高処理率のクラウドサーバで全てのジョブを処理する対処方法 (I) のほうが低くなっている。このフォグノードの低処理率の影響は  $D$  の最大値と分散の結果から確認できる。 $D$  の中央値は常に対処方法 (II) のほうが低くなっている。これは導入するフォグノードが低処理率だとしても、対処方法 (I) より低い  $D$  で処理できるジョブが多いことを示しており、ジョブ割り振り戦略の効果があると考えられる。

5 おわりに

本稿では、文献 [5] で示したジョブ割り振り戦略がジョブ量の増加に対しても、クラウドの負荷分散や低遅延等の実現に有効か検証した。しかし、この戦略におけるジョブの処理に要する時間の検出を正確におこなうことは困難である。今後の課題として、ジョブの処理に要する時間の検出の不確実性を考慮した検討があげられる。

本研究は科研費 (16K00430) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Cisco Systems, "Cisco Visual Networking Index (VNI) Complete Forecast for 2015 to 2020", <http://www.cisco.com/web/JP/solution/isp/ipngn/connlife/vni.html>, 更新日 2016, 閲覧日 2016.
- [2] I. Stojmenovic, S. Wen, "The Fog Computing Paradigm: Scenarios and Security Issues", Proceedings of the 2014 FedCSIS, pp. 1-8, 2014.
- [3] Cisco Systems, <http://www.cisco.com>, 閲覧日 2016 年.
- [4] Cisco Systems, "Fog Computing and the Internet of Things: Extend the Cloud to Where the Things Are", [https://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/solutions/trends/iot/docs/computing-overview.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/trends/iot/docs/computing-overview.pdf), 最終更新日 2015 年, 閲覧日 2016 年 9 月.
- [5] 森他, "フォグコンピューティングにおけるジョブ割り振り戦略の検討", 信学技報, vol. 116, no. 400, IN2016-89, pp. 25-30, 2017 年 1 月.
- [6] Mesquite Software, <http://www.mesquite.com>, 2016 年閲覧.