

## VCHS 型待ち行列モデルを用いた IoT システムの設計に関する研究

情報科学科 情報システムコース 森 友哉

指導教員：奥田 隆史

## 1 はじめに

IoT (Internet of Things) を活用したシステム (以下, IoT システム) による社会全般の利便性の向上が期待されている [1]. IoT 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する. トラフィック量増加により, 多大な負荷が集中的にかかることで, 現在のクラウドコンピューティングという処理形態では IoT システムの低遅延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フォグコンピューティングと呼ばれるクラウド層の負荷分散処理を目的とした処理形態がある [3]. この処理形態はエッジデバイス層, フォグ層としてクラウド層の 3 階層で構成される. 中間層に位置する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.

本研究では, 多様なジョブを処理するクラウドコンピューティングとフォグコンピューティングを VCHS (Various Customers, Heterogeneous Servers) 型待ち行列モデル [4] で表現し, そのモデルの性能評価の比較から, クラウド層の負荷分散, 低遅延リアルタイム性の実現に効果的なジョブ割り振り戦略を明らかにし, IoT システム設計のための知見を得ることを目的とする.

## 2 VCHS 型待ち行列モデル

クラウドコンピューティングとフォグコンピューティングをそれぞれ図 1 のような VCHS 型待ち行列モデル (I), (II) で抽象的に表現する.

多様なジョブを表現するために, モデル (I), (II) が処理するジョブは二つの属性, (a) 処理時間, (b) 許容待ち時間, を持つものとする. (a) は処理率が 1.0 であるサーバが, そのジョブの処理完結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とする. 各属性の長さは {短, 中, 長} の三種類あるものとし, 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.

<モデル (I)>: クラウドサーバを無限長待ち行列システムと捉える. ジョブは平均到着間隔  $\lambda^{-1}$  の指数分布に従ってクラウドサーバに到着する. ただしジョブがクラウドサーバに到着するまでに伝送遅延  $d_C$  を受けるものとする. 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. 到着したジョブはクラウドサーバによって処理完結を受ける. このとき処理完結にかかる時間 = (ジョブが持つ処理時間)/(処理率  $\mu_C$ ) である.

<モデル (II)>: モデル (II) はフォグノードを待ち行列長が  $K_F$  である有限長待ち行列システムと捉え, これをモデル (I) の中間層に導入したモデルである. ジョブは平均到着間隔  $\lambda^{-1}$  の指数分布に従って, フォグノードに到着する. フォグノードの待ち行列に空きがない時に到着したジョブは, 待ち行列に並ぶことができず廃棄される. 到着したジョブは, ジョブ割り振り戦略に従ったフォグノードによるジョブ割り振りの処理を受ける. 本稿では, 以下三つのジョブ割り振り戦略を検討する.

## ■ 割り振り戦略① (処理時間優先割り振り):

まず, フォグノードは受信したジョブが持つ処理時間を検出する. 次に, 検出した処理時間とフォグノードが持つ閾値を比較する. (処理時間)  $\leq$  (閾値) であればフォグノード自身でジョブの処理を完結する. そうでなければクラウド層へ割り振る.

## ■ 割り振り戦略② (許容待ち時間優先割り振り):

割り振り戦略①はフォグノードが検出するジョブの属性が処理時間であるが, この戦略では許容待ち時間を検出する.

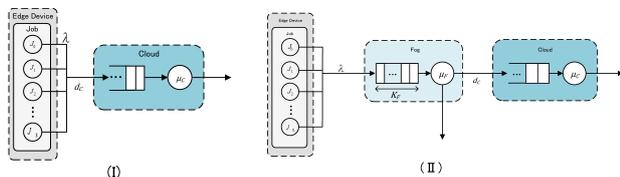


図 1 VCHS 型待ち行列モデル

表 1 シミュレーション条件

項目	記号	数値
各長さの平均処理時間	$\{h_s, h_m, h_l\}$	{1.0, 5.0, 9.0}
各長さの平均許容待ち時間	$\{w_s, w_m, w_l\}$	{1.0, 5.0, 9.0}
ジョブ量増加後の合計処理率	-	4.4
フォグノードの待ち行列長	$K_F$	5
伝送遅延 $d_C$ の平均	$m$	3.0
伝送遅延 $d_C$ の標準偏差	$\sigma$	0.6
3 × 3 通りのジョブの量比	-	一様
処理するジョブの個数 (シミュレーション終了条件)	-	100 万個

## ■ 割り振り戦略③ (ランダム割り振り):

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かをランダムにきめる.

ただし各戦略においてフォグノードは, ジョブの属性の値の正確な検出が可能であるものとする.

ジョブ割り振り後, フォグノード自身でジョブの処理を完結させるとき, 処理完結にかかる時間 = (ジョブが持つ処理時間)/(処理率  $\mu_F$ ) である. クラウド層へ割り振るときはモデル (I) と同様に, ジョブは伝送遅延  $d_C$  を受けクラウドサーバに届き, その後処理完結を受ける.

## 3 シミュレーションによる結果と考察

シミュレーションは, モデル (I) の 1 通りとモデル (II) の 3 通り (ジョブ割り振り戦略①~③) の, 合計 4 通りおこなう. ジョブに対する遅延度  $D (= D_s + D_w)$  とジョブ損失率  $B$  を求める. ただし,  $D_s =$  (システム滞在時間)/(平均処理時間  $\{h_s, h_m, h_l\}$ ),  $D_w =$  (待ち時間)/(平均許容待ち時間  $\{w_s, w_m, w_l\}$ ) で求める. ジョブ損失率  $B$  は, フォグノードの待ち行列に空きがないときに到着したジョブが待ち行列に並ぶことができず破棄される確率を表す. シミュレーション条件を表 1 に示す. 処理率  $\mu_F, \mu_C$  はモデル (I), (II) の合計処理能力が等しくなるように設定した. 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 [5] を使用した.

$\lambda = 0.055$  とし, ジョブ割り振り戦略①, ②の閾値を 1.0~10.0 まで 1.0 ずつ変化させたときの  $D$  の平均値を図 2 に示す. いかなる閾値のジョブ割り振り戦略①のモデル (II) は, モデル (I) より低い  $D$  で処理できるジョブ数が多いことがわかる. また閾値 1.0 のジョブ割り振り戦略②も効果的であることもわかる.

$\lambda$  を 0.05~1.05 まで 0.1 ずつ変化させたときの  $B$  を図 3 に示す. ジョブ割り振り戦略①は他の戦略に比べてトラヒックの増加に対して  $B$  は小さい.

シミュレーション結果からジョブ割り振り戦略①のように, 処理時間が短いジョブをフォグノードで優先的に処理し, フォグノードのバッファにおける待ち時間を短くするようなジョブ割り振り戦略が効果的であることがわかる.

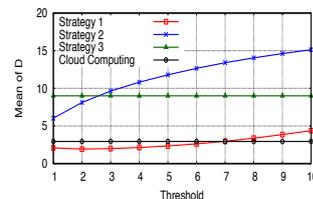


図 2 D の平均値

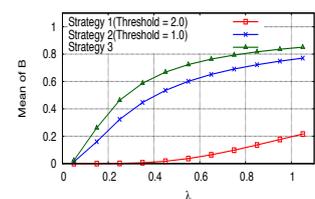


図 3 ジョブ損失率

## 4 おわりに

本研究では, VCHS 型待ち行列モデルを用いて, 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について検討した. その結果, ジョブ割り振り戦略①が効果的であることが示された. 今後の課題として, IoT 普及による更なる高負荷な環境下におけるクラウドの負荷分散手法の検討などがあげられる.

## 参考文献

- [1] 山田太郎, 『日本版 インダストリー 4.0 の教科書IoT 時代のモノづくり戦略』, 日経 BP, 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, "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. [4] 清水他 1 名, "量的・質的 VCHS 問題のシミュレーション評価", 信学技報, vol.110, IN2010-108, pp.63-68, 2010. [5] Mesquite Software, <http://www.mesquite.com>, 2016 年閲覧.