

ジョブの多様な到着間隔を考慮した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

森 友哉¹ 宇都宮 陽一¹ 田 学軍² 奥田 隆史²

概要: 近年クラウドコンピューティングを用いた様々なサービスが普及している。しかしながら将来の IoT (Internet of Things) の普及に伴い、現在のクラウドコンピューティング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。このような問題のソリューションの一つにフォグコンピューティングがある。エッジコンピューティングとも呼ばれ、IoT を活用した様々なシステムへの応用が期待されている。フォグコンピューティングはクラウドコンピューティングの発展型でエッジデバイス層とクラウド層の間にフォグ層と呼ばれる分散処理環境を導入したものである。物理的にはフォグ層はエッジデバイス層に近い距離に位置し、フォグ層にクラウド層の一部の処理を任せることで、低遅延やリアルタイム性の実現を試みる。しかしながらシステムによってリクエストの発生間隔等は多様であり、それらの対処方法は不明確である。本研究では待ち行列モデルを用いて多様な到着をするリクエストに対して、どのようにリクエストをフォグ層、クラウド層に割り振るべきか検討する。

Job Assignment Strategy Considering Various Inter-arrival time of Job in Fog Computing

TOMOYA MORI¹ YOICHI UTSUNOMIYA¹ XUEJUN TIAN² TAKASHI OKUDA²

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], [2]。また現在のクラウドコンピューティング [3] 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 [4]。この理由は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ることが予想されているためである。

この問題のソリューションの一つとして、Cisco Systems, Inc. [5] はフォグコンピューティングと呼ばれる新たな分散コンピューティングを提案した [6]。このフォグコンピューティングは HEMS (Home Energy Management System)

を含むスマートグリッドや VANETs (Vehicular Ad hoc NETWORKs) などへの応用が期待され研究が進められている [7]。図 1 にフォグコンピューティングの概略図を示す。このフォグコンピューティング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。フォグ層は物理的にはエッジデバイス層の近接に位置する。フォグ層を構成するフォグノードは、まずセンサーデバイスなどを含むエッジデバイス層から多様なデータやリクエスト等 (以下、ジョブ) を受信する。次に

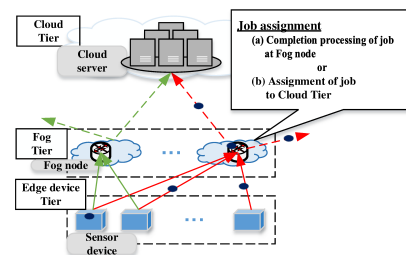


図 1 フォグコンピューティングの概略図
Fig. 1 A schema of Fog computing

¹ 愛知県立大学大学院 情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

² 愛知県立大学 情報科学部 情報科学科
Department of Information Science and Technology, Faculty of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

そのジョブに応じて、そのままクラウド層に送信するか、直ちにフォグ層で処理するかを決める。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。多様なジョブの中には、フォグノードで完全に処理可能なものと、そうではないものがある。フォグノードで完全に処理可能なジョブは処理してしまい、そうでないものは可能な前処理をおこなった上でクラウド層へ送信する。ここで前処理とは、クラウドでおこなう分析等のために受信したデータの整理をすることや、クラウドに送信する必要のないジョブを廃棄することなどがある。

我々の研究グループは文献 [8], [9] において、フォグコンピューティングにおける“多様なジョブ (Various Customers) を受信後、ジョブ割り振りをおこない、ジョブに応じて異なる処理能力を持つサーバ (Heterogeneous Servers) で処理する過程”を VCHS (Various Customers, Heterogeneous Servers) [10] 型待ち行列モデルで表現した。異なる処理能力を持つサーバとは、フォグノードとクラウドサーバのことである。そのモデルの性能評価結果から、“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。しかし先行研究では、ジョブの到着がランダムな場合のみしか考えていない。

本稿では、フォグコンピューティングの様々な応用先を考慮し、ジョブが多様な到着をする場合に対するジョブ割り振り戦略の検討をおこなう。以下、第2節で想定環境について述べる。第3節では、想定環境においてジョブ割り振り戦略を検討するための評価モデルについて述べる。第4, 5節では、評価モデルの性能評価をシミュレーションによりおこなう。第6節では評価モデルの評価結果から、どのようなジョブ割り振りをおこなうべきか検討する。最後に第7節で、まとめと今後の課題を述べる。

2. 想定環境

想定環境の概略図を図2に示す。本稿では、HEMS, VANETs など複数のシステムが混在する環境を想定する。以下、各層の詳細を述べる。

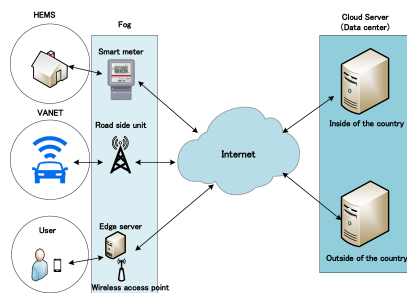


図2 想定環境の概略図

Fig. 2 A schema of an assumed environment

2.1 エッジデバイス層

IoT 技術がこれまでの IT と大きく違うのは、エッジデバイスの多様化である。デバイスのサイズに着目すると、エッジデバイスには指先に載るような温度センサー、加速度センサーもあれば、大きなものでは自動車、建設重機、旅客機など移動性のあるものまでも含まれる。扱うデータに着目するとエッジデバイスにはデジタルデータそのものを直接扱うものから、画像、音声、温度、湿度、風速、圧力、照度、水位といったアナログデータも扱うことができる。上記のようなエッジデバイスが組み合わさることで、HEMS におけるスマートハウスや VANETs を実現することができる。また IoT が普及したとしても、これまでの通りユーザは Web ブラウジング、動画コンテンツのダウンロードそしてメールの送受信等のリクエストを出すため、エッジデバイス層には上記のようなエッジデバイスだけではなく、ユーザも含まれているものと考えられる。本稿ではエッジデバイス層を構成する要素としてスマートハウス、VANETs におけるコネクテッドカーそしてユーザを想定する。

HEMS では温度や電力量といった各種測定データを一定間隔で収集し、ネットワークを介してデータの可視化や各機器の制御などがおこなわれる [11]。VANETs では駐車場の空き状況の取得や渋滞状況の取得などのリクエストが、RSU (Road Side Unit : 路側機) とすれ違う時にコネクテッドカーから送信される [12]。またコネクテッドカーの経路情報などを用いた信号機の制御などもおこなわれる。ユーザからは動画コンテンツのダウンロードやメールの送受信、クラウドへのデータ保存などのリクエストが発生する。

本稿では便宜上、これらのリクエストをまとめてジョブと呼ぶことにする。また実際はジョブごとにサイズや処理の難易度、要求量が異なるが、本稿では多様な到着をするジョブに対するジョブ割り振り戦略の検討をおこなうため、ジョブのサイズや処理の難易度、要求量は全て等しいものとする。

2.2 フォグ層

フォグコンピューティングの特徴であるフォグ層は、クラウド層がおこなう処理をエッジデバイスの近接でおこなうために導入された。またジョブの前処理をおこなうことにより、クラウド層がおこなう処理の負荷を軽減する目的もある。フォグ層を構成する複数のフォグノードは、複数のエッジデバイスと無線通信または有線通信により接続され、クラウドサーバとはインターネット回線で接続される。ただし本稿ではエッジデバイスとフォグノード間、フォグノードとクラウドサーバ間の具体的な通信プロトコルは考えていない。

フォグノードの役割を担うデバイスは、HEMS ではス

スマートメータ, VANETsではRSU, ユーザに対してはアクセスポイントやエッジサーバなどであり, システムによって異なる. またフォグノードへのジョブの到着の仕方はシステムによって異なる. HEMSでは一定間隔で各種測定データを収集するため, スマートメータにジョブは一定間隔で到着することが想定される. VANETsではリクエストの送信はコネクテッドカーがRSUにすれ違う時におこなわれるため, ランダムであることが想定される. ユーザからはランダムな到着もあれば, 時間帯で偏りがあるバースト到着をすることもある.

実際はジョブの遅延要求等を考慮して, ジョブをフォグノードで処理するか, クラウドサーバで処理するかを決めることが想定される. しかし本稿では具体的な遅延要求等は考慮せず, フォグノードで処理するジョブを割合で決めるものとする. フォグノードで処理するジョブの割合の大きさと, 多様な到着間隔との関係にも着目するためである. また本稿ではフォグノードによるジョブの前処理は対象としない. 将来的には具体的な遅延要求等やフォグノードによるジョブの前処理を考慮したジョブ割り振り戦略の検討もしていく.

2.3 クラウド層

フォグコンピューティングにおけるクラウド層は, クラウドコンピューティングと同様にインターネットを介して提供されるデータセンターのリソース(サーバやストレージ)のことである[3]. インターネットを介して利用する物理サーバをクラウドサーバと呼ぶ. エッジデバイス層にとっては毎回同一のクラウドサーバにジョブを送信している. 実際はジョブを送信するたびに物理的に異なる位置にあるデータセンターの物理サーバに接続される可能性がある. データセンターは国内だけではなく国外に位置するものもある. 接続されるデータセンターが異なってもクラウドサーバの能力に影響はしないが, 接続されるデータセンターとの物理的な距離によって, ジョブがクラウドサーバに届くまでに発生する伝送遅延は異なる.

クラウドサーバにはフォグノードからジョブが送信されるが, システムによってその送信間隔が異なることが想定される. またシステムは混在しているため, クラウドサーバに, あるシステムのフォグノードからはジョブが一定間隔で到着し, ある別のシステムのフォグノードからはジョブがランダムに到着するなど到着の仕方が混合することが想定される.

本稿ではエッジデバイス層から物理的に距離が近い, 遠い二種類のデータセンターの物理サーバをクラウドサーバとして用いるものとする. フォグ層からジョブは確率 $1/2$ でどちらかの物理サーバへ送信されるものとする. ただしどちらの物理サーバに送信されても, クラウドサーバの処理能力は同一であるものとする.

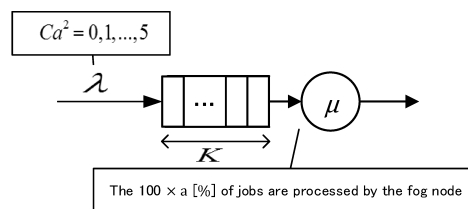


図 3 評価モデル ①

Fig. 3 Evaluation model ①

3. 評価モデル

本節では, 第2節で述べた想定環境のもとで, 多様な到着間隔を考慮した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を検討するための評価モデルについて述べる. 本稿では, フォグノードへのジョブの多様な到着とクラウド層のクラウドサーバの役割を担う物理サーバへの多様な到着の二つを別々で考えることにする. 3.1節ではフォグノードへのジョブの多様な到着に着目した評価モデルを, 3.2節では物理サーバへのジョブの多様な到着に着目した評価モデルを述べる.

3.1 評価モデル ①

評価モデル ①を図3に示す. この評価モデルではフォグノードを処理率 μ , 待ち行列長 K の待ち行列システムとみなしている.

ジョブはシステムに平均到着間隔 λ^{-1} で到着するが, それに従う分布は平方変動係数 $Ca^2 (= \text{分散}\sigma^2 / (\lambda^{-1})^2)$ によって決まるものとする. なお $Ca^2 = 0$ のとき一定分布, $Ca^2 = 1$ のとき指数分布, $Ca^2 > 1$ のとき超指数分布に従う. ジョブは待ち行列システムに到着後, 待ち行列で待機しているジョブの数が K 未満であれば, 待ち行列に並びフォグノードによる処理を待機する. もし待ち行列にジョブが K 個待機していた場合は, 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てしまう. 廃棄されたジョブは再び待ち行列に並ぶことはできず, システムから退出させられる.

到着するジョブのうちフォグノードが処理するジョブが占める割合を a とする. その他のジョブはフォグノードでは処理をおこなわずシステムから退出させる. この評価モデルではクラウド層を考えていないため, その他のジョブのシステムからの退出はクラウドサーバへ送信されることとみなす. ただし到着するジョブがどちらのジョブかは, そのジョブの処理を開始しようとするまでわからないものとする. そのため全てのジョブは待ち行列で待機する必要がある.

フォグノードはサービス規律FCFS (First In First Out)[13]の順番でそのジョブの種類を検知し, そのジョブがフォグノードで処理するジョブであれば処理をおこなう.

そうでなければシステムから退出させる。ジョブを処理する場合に要する処理時間は平均 μ^{-1} の指数分布に従うものとする。ジョブの処理が完了したら、そのジョブをシステムから退出させる。

3.2 評価モデル②

評価モデル②を図4に示す。この評価モデルではクラウドサーバの役割を担う二つの物理サーバを待ち行列システムとみなしている。

物理サーバ1を処理率 μ_1 の待ち行列システム、物理サーバ2を処理率 μ_2 の待ち行列システムと捉える。各待ち行列システムの待ち行列長は ∞ である。

フォグコンピューティングでは、複数のシステムにおけるフォグノードから、それぞれ異なる到着間隔でジョブがクラウドサーバに到着する。そのため評価モデルを以下のケンドールの記号 [14] (到着分布/サービス分布/サーバ数) で表現された四通りのパターンで考える。

パターン 1: D, M/M₁, M₂/2

パターン 2: D, H₂/M₁, M₂/2

パターン 3: M, H₂/M₁, M₂/2

パターン 4: D, M, H₂/M₁, M₂, M₃/2

到着分布の D, M, H₂ はそれぞれジョブの到着間隔が一定分布, 指数分布, 超指数分布に従うことを意味する。ここで到着間隔が一定分布に従うジョブの到着間隔を λ_D^{-1} , 指数分布に従うジョブの平均到着間隔を λ_M^{-1} , 超指数分布に従うジョブの平均到着間隔を $\lambda_{H_2}^{-1}$ とする。例として, パターン1がどのようなモデルか説明する。パターン1では到着間隔が一定分布に従うジョブと指数分布に従うジョブの二種類のジョブが到着する。サービス分布は M₁, M₂ であるため, 二種類のジョブの処理に要する時間はそれぞれ独立な指数分布に従う。サーバ数は2であるため, 物理サーバが2台存在する。

全てのパターンにおいてジョブは, 確率 1/2 で物理サーバ1, 2の待ち行列システムのどちらかに到着する。このときジョブが物理サーバ1, 2に到着するまでに, それぞれ伝送遅延 d_1, d_2 が発生する。ただし $d_1 < d_2$ であるものとする。なお本稿では, ジョブのサイズは全て等しいものとしているため, ネットワーク伝送中の差異は無視する。ジョブはシステムに到着後, 待ち行列で物理サーバによる処理を待機する。物理サーバ1, 2はサービス規律 FCFS の順番でジョブを処理する。このとき物理サーバ1, 2がジョブの処理に要する時間は, それぞれ平均 μ_1^{-1}, μ_2^{-1} の指数分布に従うものとする。ジョブの処理が完了したら, そのジョブをシステムから退出させる。

4. シミュレーションによる評価モデル①の性能評価

本節では第3節で述べた評価モデル①の性能評価をお

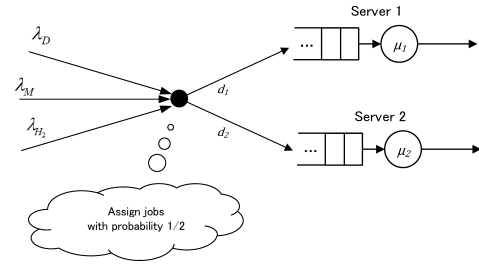


図4 評価モデル②

Fig. 4 Evaluation model ②

こなう。4.1節では各モデルのシミュレーション条件について述べる。4.2節では評価モデル①の性能評価結果を述べる。

4.1 シミュレーション条件

まずシミュレーションにおける各種パラメータについて述べる。数値例としてサーバの処理率 μ を 1.0, 待ち行列長 K を 10 で固定する。システムの利用率 $\rho (= \lambda/\mu)$ が 0.5, 0.6, ..., 0.9 になるように到着率 λ を設定する。平方変動係数 Ca^2 は 0, 1, ..., 5 のように 1 ずつ変化させ, それに伴い分散 σ^2 を設定する。フォグノードが処理するジョブの割合 a は 0.0, 0.1, ..., 1.0 のように 0.1 ずつ変化させる。

次にシミュレーションで求める性能評価指標について述べる。シミュレーションでは上記のように ρ と a を変化させながら平均応答時間 W とジョブ損失率 B を求める。応答時間は“ジョブがシステムに到着してから退出するまでの時間”を表す。したがって W は全てのジョブの応答時間の平均値を表す。 B はジョブが待ち行列に並ぶことができず廃棄されてしまう確率であり, 次の式 (1) で求める。

$$B = \frac{\text{廃棄ジョブ総数}}{\text{到着ジョブ総数}} \quad (1)$$

ここで廃棄ジョブ総数とは, 待ち行列に並ぶことができずに廃棄されたジョブの合計を表し, 到着ジョブ総数はシステムに到着したジョブの合計である。

シミュレーションは合計 100 万個のジョブがシステムに到着するものとし, 全てのジョブが廃棄またはフォグノードによる処理完了によりシステムを退出したら終了する。以降に示す結果はシミュレーションをそれぞれ 10 回試行したときの平均値である。なおシミュレーションは離散事象シミュレーションパッケージ CSIM20 [15] を使用した。

4.2 評価モデル①の性能評価結果

まず平均応答時間 W について述べる。 W の結果を図5~10に示す。 a が増加するとフォグノードで処理するジョブは増えるため, ジョブの待ち時間が増加する。どの Ca^2 の場合においても, この傾向が確認できる。 Ca^2 が増加すると, 各 W は大きくなる。 $\rho = 0.5$ に着目すると, $Ca^2 = 0$ のときは a の増加による W の変化は小さい。しかし Ca^2

が大きくなると、 a の増加による W の変化は大きくなる。また a が大きいほど ρ の影響を受けやすいことも読み取れる。

次にジョブ損失率 B について述べる。図11の左図は各 Ca^2 において B が0.001未満となる a の最大値を示している。図11の右図は0.005未満となる a の最大値を示している。例えば $Ca^2 = 1$ でジョブがフォグノードが到着するシステムが利用率0.7で利用されると想定した時、 B を0.001未満に抑えたい場合、フォグノードに最大で6割のジョブを処理させることができることが読み取れる。 B をある値未満に抑えたい場合に、 Ca^2 が大きいほどフォグノードで処理できるジョブの数が少なくなることがわかる。

5. シミュレーションによる評価モデル②の性能評価

本節では第3節で述べた評価モデル②の性能評価をおこなう。5.1節では評価モデル②のシミュレーション条件について述べる。5.2節では評価モデル②の性能評価結果を述べる。

5.1 シミュレーション条件

まずシミュレーションにおける各種パラメータについて述べる。数値例として各物理サーバの処理率 μ_1, μ_2 を2.0に固定する。各パターンにおいてシステムの利用率 ρ が0.5, 0.6, ..., 0.9になるように $\lambda_D^{-1}, \lambda_M^{-1}, \lambda_{H2}^{-1}$ を設定する。ただし ρ は式(2)のように定義した。

$$\rho = \begin{cases} \frac{\lambda_D + \lambda_M}{\mu_1 + \mu_2} & \text{パターン 1 のとき} \\ \frac{\lambda_D + \lambda_{H2}}{\mu_1 + \mu_2} & \text{パターン 2 のとき} \\ \frac{\lambda_M + \lambda_{H2}}{\mu_1 + \mu_2} & \text{パターン 3 のとき} \\ \frac{\lambda_D + \lambda_M + \lambda_{H2}}{\mu_1 + \mu_2} & \text{パターン 4 のとき} \end{cases} \quad (2)$$

全てのパターンのシミュレーションが同条件になるように、全てのパターンの合計到着率かつ各到着分布の平均到着率が等しくなるように設定した。またパターン2, 3, 4における超指数分布の分散は平方変動係数が2.0になるよう

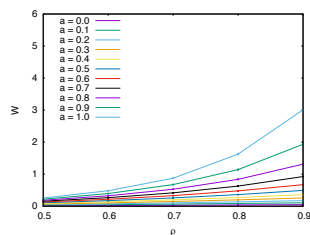


図5 $Ca^2 = 0$ のときの W
Fig. 5 Mean response time when $Ca^2 = 0$

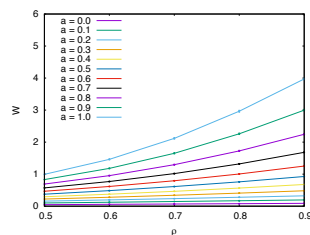


図6 $Ca^2 = 1$ のときの W
Fig. 6 Mean response time when $Ca^2 = 1$

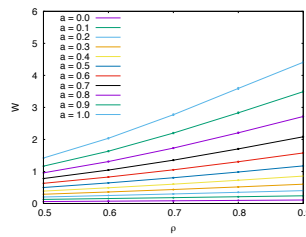


図7 $Ca^2 = 2$ のときの W
Fig. 7 Mean response time when $Ca^2 = 2$

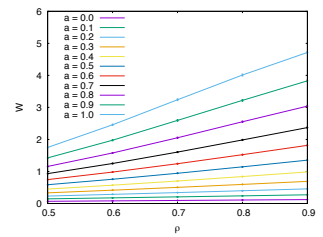


図8 $Ca^2 = 3$ のときの W
Fig. 8 Mean response time when $Ca^2 = 3$

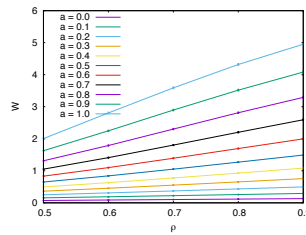


図9 $Ca^2 = 4$ のときの W
Fig. 9 Mean response time when $Ca^2 = 4$

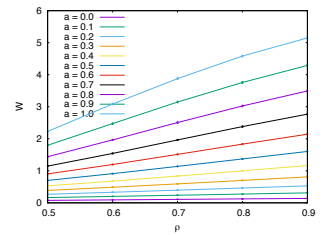


図10 $Ca^2 = 5$ のときの W
Fig. 10 Mean response time when $Ca^2 = 5$

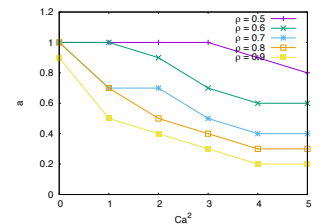
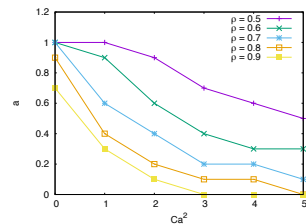


図11 各 Ca^2 で B が0.001未満(左図), 0.005未満(右図)となる a の最大値

Fig. 11 Left figure shows max of a that B satisfies less than .001 for each Ca^2 . Right figure shows max of a that B satisfies less than .005 for each Ca^2 .

に設定した。

次にシミュレーションで求める性能評価指標について述べる。シミュレーションでは平均応答時間 W と各物理サーバの平均待ち行列長 L_q を求める。ここでの W は4.1節で述べた W と同様である。平均待ち行列長 L_q はシミュレーション時間において各物理サーバに平均どのくらいジョブが並んでいるかを表す。

シミュレーションは合計100万個のジョブがシステムに到着するものとし、全てのジョブが物理サーバによる処理完了によりシステムを退出したら終了する。以降に示す結果はシミュレーションをそれぞれ10回試行したときの平均値である。なおシミュレーションは離散事象シミュレーションパッケージCSIM20[15]を使用した。

5.2 評価モデル②の評価結果

評価モデル②のシミュレーション結果を図12, 13に示す。全てのパターンにおいて、 ρ の増加に従い W は増加す

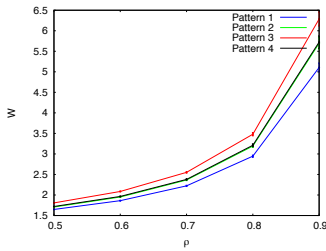


図 12 各パターンにおける平均応答時間と 95%信頼区間

Fig. 12 Mean response time and 95% confidence interval in each pattern

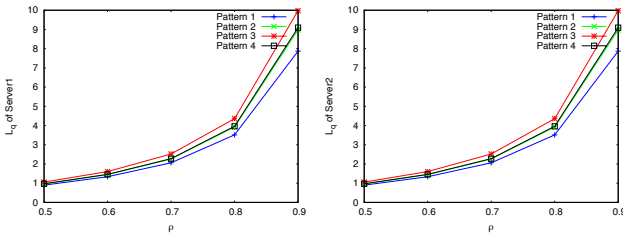


図 13 各パターンにおける平均待ち行列長

Fig. 13 Mean queue length of each server in each pattern

る。最も W が小さいのはパターン 1 であり、最も W が大きいのはパターン 3 である。到着がランダムになったり、バースト到着のように到着に偏りが加わることで、 W が大きくなることがわかった。パターン 4 が最も大きくなると予想していたが、シミュレーションによる結果は 2 番目に大きくなった。この理由は全てのパターンのシミュレーション条件を等しくするために、パターン 4 の到着率を他のパターンの 2/3 倍に設定したからだと考えられる。

6. ジョブの多様な到着間隔を考慮したジョブ割り振り戦略の検討

第 4, 5 節の評価モデルの性能評価結果から、ジョブの多様な到着間隔を考慮した場合、どのようなジョブ割り振り戦略がよいのか検討する。

まずフォグノードに関して述べる。HEMS のようにシステム内で発生するジョブのフォグノードへの到着間隔の Ca^2 が小さければ、フォグノードで多くのジョブを処理できる可能性がある。しかし VANETs やユーザへのサービスのように Ca^2 が大きいシステムのフォグノードは、処理するジョブが多いと遅延や損失が大きくなりやすいため、どのような種類のジョブをフォグノードで処理するか適切に設定する必要がある。フォグノードで処理すべきジョブに優先度を決め、フォグ層を多段にし、優先度が高いジョブほどエッジデバイス層に近いフォグ層で処理するなど新たなジョブ割り振り戦略の検討をおこなう必要がある。

次にクラウドに関して述べる。様々なシステムにおけるフォグノードからクラウド層へジョブが送信されるが、その到着に偏りが無いほど W や L_q は小さくできる。フォグ層からクラウド層へ送信する間隔の偏りが小さくなるよう

に制御する必要がある。

7. おわりに

本稿では待ち行列システムを用いて、ジョブが多様な到着をするフォグ層とクラウド層を別々にモデル化し、シミュレーションにより性能評価をおこなった。その結果、フォグ層、クラウド層ともに到着がばらついたり偏りがある場合に遅延やジョブ損失率に影響を与えてしまうことがわかった。今後の課題としては、第 6 節で述べたように、フォグ層を多段する多様な種類のジョブに対する処理手法や、クラウドへの到着間隔の制御手法の検討があげられる。

謝 辞

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] 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] Cisco Systems: Cisco Visual Networking Index (VNI) Complete Forecast for 2015 to 2020, 入手先 <http://www.cisco.com/web/JP/solution/isp/ipngn/connlife/vni.html> (参照 2016 年).
- [3] 城田真琴: クラウドの衝撃, 東洋経済新報社 (2009).
- [4] I. Stojmenovic and S. Wen: The Fog Computing Paradigm: Scenarios and Security Issues, Proceedings of the 2014 FedCSIS, pp. 1-8 (2014).
- [5] Cisco Systems: 入手先 <http://www.cisco.com/> (参照 2016 年).
- [6] Cisco Systems: Fog Computing and the Internet of Things: Extend the Cloud to Where the Things Are, 入手先 https://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/trends/iot/docs/computing-overview.pdf (2015).
- [7] F. Bonomi, R. Milito, J. Zhu, S. Addepalli: Fog Computing and Its Role in the Internet of Things, Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing, pp. 13-16 (2012).
- [8] 森友哉, 宇都宮 陽一, 田学軍, 奥田 隆史: 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).
- [9] 森友哉, 宇都宮 陽一, 田学軍, 奥田 隆史: 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, 第 79 回情報処理学会全国大会, 7T-01 (2017).
- [10] 清水哲, 能上慎也: 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).
- [11] 加藤敏春: スマートグリッド革命 エネルギー・ウェブの時代, NTT 出版 (2010).
- [12] K. Liu, J. Ng, V. Lee, S. Son and I. Stojmenovic: Cooperative Data Scheduling in Hybrid Vehicular Ad Hoc Networks: VANET as a Software Defined Network, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 24, Issue 3, pp. 1759-1773 (2016).
- [13] 川島幸之助, 塩田茂雄, 河西憲一, 豊泉洋, 会田雅樹: 待ち行列理論の基礎と応用, 共立出版 (2014).
- [14] 村上泰司: わかりやすい情報交換工学, 森北出版 (2009).
- [15] Mesquite Software: 入手先 <http://www.mesquite.com/> (参照 2016 年).