

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：32687

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K11951

研究課題名(和文)クラウド・コンピューティング・システムのための省電力同時実行制御方式の研究

研究課題名(英文)Energy-Efficient Concurrency Control for Cloud Computing Systems

研究代表者

榎戸 智也 (Enokido, Tomoya)

立正大学・経営学部・教授

研究者番号：10360158

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：クラウド・システムは、新たな情報システム基盤として広く利用されている。一方で、システムの大規模化や利用者数とデータ量の増加等に伴い消費電力量の増大が問題となっている。本研究では、データアクセスが主な処理となる応用サービスを対象に実サーバを構成するハードウェアの電力消費特性だけでなく、実サーバ内で稼働しているソフトウェアの実行も考慮した実サーバの電力消費モデルを提案した。また、応用サービスの信頼性、可用性の向上のためにクラウド・システム内の複数の仮想マシンに多重化されたオブジェクトに対して、システム全体の消費電力量を削減し、かつスループットを向上できる新たな同時実行制御方式を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、データアクセスが主な処理となる応用サービスを対象として、実サーバを構成するハードウェアの電力消費特性だけでなく、ソフトウェアの実行も考慮した実サーバの電力消費モデルを提案する点で新規性がある。また、応用サービスの信頼性、可用性の向上のためにクラウド・システム内の複数の仮想マシンに多重化されたオブジェクトに対して、システム全体の消費電力量を削減し、かつスループットを向上できる新たな同時実行制御方式を提案する点でも新規性がある。本研究の成果は、拡張性、信頼性、可用性に優れたクラウド・システムを消費電力量の観点からも有効な情報システム基盤として発展させることができる。

研究成果の概要(英文)：Distributed applications are composed of various types of objects which are encapsulations of data and methods to manipulate the data in the objects. Cloud computing systems are widely used to provide reliable and available application services. In a cloud computing system, each object like a database system is replicated on multiple virtual machines. On the other hand, a system consumes a large amount of electric energy since multiple replicas of each object are manipulated on multiple virtual machines in a system. In this study, the IEEQS-VM (improved energy-efficient quorum selection with virtual machines) algorithm is proposed to reduce not only the total electric energy consumption of a cloud computing system but also the execution time of each transaction by not performing meaningless methods.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：情報システム 情報通信工学 計算機システム 省エネルギー アルゴリズム

1. 研究開始当初の背景

現在の情報システムは、高速通信技術や移動体通信技術の発展と普及に伴い、センサ、スマートフォン、家電製品等の多種多様な情報機器が相互接続された大規模な分散システムとなっている。情報システムを利用して提供される応用サービスも多様化、高度化しており、利用者数の増大と利用データの増加が進んでいる。クラウド・システムは、このようなサービスを実現するための新たな情報システム基盤であり、国内外の企業もクラウド・システムを用いた各種応用サービスの提供を事業化している。クラウド・システムは、実サーバ・クラスタが保有する計算資源を利用して提供される各種応用サービスをクライアントが利用するシステムモデルであり、1つのクラウド・システム内で複数の独立した応用サービスを同時に提供することが可能である。現在のクラウド・システムでは、仮想マシンに代表される仮想化技術が利用されている。仮想化技術を利用することで、応用サービス間での計算資源の分割利用や統合が可能となり、実サーバが保有する計算資源の利用効率を向上できる。さらに、各応用サービスでのトラフィックやデータ量等の変動に合わせて利用する計算資源の機能拡張(スケールアウト)や機能縮小(スケールイン)を柔軟に実現することが可能になる。

一方で、システムの大規模化、サービスの高度化・多様化、利用者数とデータ量の増加に伴う消費電力量の増大が環境保護上の問題となっており、クラウド・システムの省電力化が重要な課題となっている。クラウド・システム上で提供される応用サービスは、仮想マシン上に分散されたデータベース等のソフトウェアをオブジェクトとしてとらえ、これら複数のオブジェクトとメッセージの送受信を行い協調動作することで実現される。応用サービスのデータは、そのデータを操作するための演算(メソッド)とともにオブジェクトとしてカプセル化され利用される。クラウド・システム上で提供される応用サービスを実現するためには、こうしたオブジェクト間の相互運用性の向上に加えて、複数の利用者が複数のオブジェクトを同時に操作する環境のもとで、オブジェクトのインテグリティ制約の保証とシステムのスループットの向上が重要な課題となる。このための研究として同時実行制御方式の研究が行われている。同時実行制御は、複数の利用者によりオブジェクトが操作される場合にオブジェクトのインテグリティ制約を保証すると同時にシステムのスループットの最大化を目指す制御である。利用者が応用サービスを利用するために発行した複数のトランザクションが各オブジェクト上で同時に実行されるとき、システム内のオブジェクトを正しい状態に保つためには、競合する複数のトランザクションを直列可能な状態で実行する必要がある。競合する複数のトランザクションを直列化する方法として、2相ロック方式や時刻印順序付け方式が提案され、オラクル等の代表的なデータベースシステムで実装されている。また、クラウド・システムで実現されるような大規模サービスでは、サーバの故障やオブジェクトが保有するデータの破損等によるサービス停止の社会的影響が大きくなるため、オブジェクトの多重化や応用プログラムの多重実行等を用いてシステムの信頼性、可用性を向上している。オブジェクトの多重化を用いてシステムの信頼性、可用性を向上した場合、応用サービスでの1つの処理を複数の仮想マシンに複製されたオブジェクト上で実行する必要がある。これは、クラウド・システムの消費電力量の更なる増大とスループットの低下を伴う。多重化されたオブジェクトに対して、競合する複数のトランザクションを直列化する方法として、従来の2相ロック方式やコラム方式を拡張した方式が提案されている。さらに、応用サービスの特性を考慮して、トランザクションの原子性、一貫性、分離性、および耐久性(ACID)の特性を緩和し、システムのスループットを向上する同時実行制御方式等も提案されている。しかし、これらの研究成果は、システムのスループットを向上できるがシステム全体の消費電力量の削減は考慮されていない。

以上のことから、クラウド・システム内で応用サービスの信頼性と可用性を向上するために複数の仮想マシン上にオブジェクトが多重化された状況において、システム全体の消費電力量を削減し、かつスループットを向上できる新たな同時実行制御方式が必要となる。

2. 研究の目的

クラウド・システムは、新たな情報システム基盤として広く利用されており、国内外の企業もクラウド・システムを用いた各種応用サービスの提供を事業化している。一方で、システムの大規模化や利用者数とデータ量の増加等にもないクラウド・システムの消費電力量の増大が問題となっている。この問題に対して、本研究では、はじめに実サーバを構成するハードウェアの電力消費特性だけでなく、実サーバ内で稼働している複数の仮想マシン上でのソフトウェアの実行も考慮した実サーバの電力消費モデルを提案する。次に、応用サービスの信頼性、可用性の向上のためにクラウド・システム内の複数の仮想マシンに多重化されたオブジェクトに対して、システム全体の消費電力量を削減し、かつスループットを向上できる新たな同時実行制御方式を提案する。

3. 研究の方法

本研究では、クラウド・システム内で各オブジェクトが複数の仮想マシンに多重化された状況

において、システム全体の消費電力量を削減し、かつシステムのスループットを向上できる新たな同時実行制御方式を提案する。このために、次の(1)から(4)に示す研究を実施する。

(1) 仮想マシンの計算モデルの定式化

マルチコア CPU を搭載した 1 台の実サーバを用意する。実サーバが保有する CPU の各コア上で 2 つの論理 CPU(スレッド)を動作させる。本研究では、実サーバ内で稼働する仮想マシンは、サーバ内の 1 つのスレッドを占有して稼働する。各仮想マシン上にオブジェクトを配置し、各オブジェクト上で操作演算を実行する。本研究では、オブジェクトが提供する演算を、オブジェクトの状態を全て更新する「全更新演算」、オブジェクトの状態を部分的に更新する「部分更新演算」、オブジェクトの状態を取得する「出力演算」に分類する。ここで、仮想マシン上でオブジェクトに対する操作演算が実行されている間、仮想マシンが占有しているスレッドが稼働状態となる。よって、本研究では、稼働中の仮想マシンが 1 つ増加する毎にサーバ内の稼働スレッド数が 1 つ増加する。また、1 つ以上のスレッドが稼働状態である場合、そのスレッドを保有するコアは稼働状態となる。以上の前提のもと、実サーバ上で稼働する仮想マシン数と各仮想マシンに配置されたオブジェクト上で同時実行される演算数を変化させた場合の各演算の実行時間を測定する。また、同様の実験をハードウェア構成の異なる複数種類の実サーバを使用して実施する。この結果をもとに仮想マシンに配置されたオブジェクト上で複数の演算が同時実行された場合の計算モデルを定式化する。

(2) 実サーバの電力消費モデルの定式化

(1)で示した仮想マシンの計算モデルの定式化を行うための測定と同時に仮想マシン数と各仮想マシンに配置されたオブジェクト上で同時実行される演算数を変化させた場合の実サーバの消費電力の測定を実施する。測定結果をもとに実サーバ内で稼働しているコア数、論理 CPU 数(スレッド数)、仮想マシン数および各仮想マシン上で同時実行されている演算数と実サーバの消費電力量の関係を分析する。この結果から、実サーバ上で稼働する仮想マシン数と各仮想マシンに配置されたオブジェクト上で同時実行される演算数を変化させた場合の実サーバの電力消費モデルを定式化する。

(3) 省電力同時実行制御方式の提案

クラウド・システム内で各オブジェクトが複数の仮想マシンに多重化された状況において、システム全体の消費電力量を削減し、かつシステムのスループットを向上できる新たな同時実行制御方式を提案する。本研究では、多重化されたオブジェクトに対する同時実行制御方式の 1 つであるコーラム方式を拡張した同時実行制御方式を提案する。コーラム方式では、各トランザクションが多重化されたオブジェクトに対して演算を発行する前に演算毎に定義された数の複製(コーラム)をロックする。本研究では、はじめに各演算のコーラム選定时に(1)および(2)で定式化した仮想マシンの計算モデルと実サーバの電力消費モデル、および対象となるオブジェクトを保有する各実サーバの負荷状況をもとにシステム全体の消費電力量が最少となるコーラムを選定するアルゴリズムを提案する。次に、各オブジェクト上で実行される演算の実行系列と演算の特性をもとに各オブジェクト上で実行しても意味の無い演算(無意味な演算: meaningless method)を定義する。例えば、あるオブジェクト上で部分更新演算の後に全更新演算が実行される場合を考える。このとき、部分更新演算の実行によるオブジェクトの状態変化は、後に実行される全更新演算により上書きされる。よって、部分更新演算の後に全更新演算が実行されるのであれば、先行する部分更新演算は無意味な演算となる。無意味な演算の定義をもとに、各オブジェクト上で無意味な演算の実行を省略するための制御方式を提案する。各オブジェクト上で無意味な演算の実行を省略することにより、各仮想マシンおよび実サーバ上で実行される演算数を削減できる。提案する消費電力量を考慮したコーラム選定アルゴリズムとオブジェクト上で無意味な演算の実行を省略するための制御方式を使用することにより、クラウド・システム内で各オブジェクトが複数の仮想マシンに多重化された状況において、クラウド・システム全体の消費電力量の削減およびシステムのスループットの向上が可能となる。

(4) 提案方式の実装および評価

(3)で提案した消費電力量を考慮したコーラム選定アルゴリズムとオブジェクト上で無意味な演算の実行を省略するための制御方式を実装する。また、実装したアルゴリズムと制御方式の有効性を評価するためのシミュレーション環境を構築する。構築したシミュレーション環境を用いて、クラウド・システム内の実サーバ数、実サーバが保有するコア数、スレッド数、仮想マシン数、システム内のオブジェクト数、実行されるトランザクション数等のシステム・パラメータを変化させて従来の同時実行制御方式に比べて、提案方式がシステム全体の消費電力量を削減でき、かつスループットが向上できることを検証する。

4. 研究成果

本研究では、マルチコア CPU を搭載した実サーバ上で稼働した複数の仮想マシン上に複数のオブジェクトを配置し、各オブジェクト上でトランザクションから発行された演算を実行した場合の仮想マシンの計算モデルと実サーバの電力消費モデルを定義した。次に、定義した仮想マ

シンの計算モデル, 実サーバの電力消費モデルおよび各実サーバの負荷状況をもとにシステム全体の消費電力量が最少となるコーラム選定アルゴリズムを提案した. また, 各オブジェクト上で実行される演算の実行系列と演算の特性をもとに各オブジェクト上で実際の実行を省略できる演算(無意味な演算)を定義し, 各オブジェクト上で無意味な演算の実行を省略するための制御方式を提案した.

(1) 仮想マシンの計算モデル

本研究では, 各オブジェクトが提供する演算を, オブジェクトの状態を更新する「更新(書込み)演算」とオブジェクトの状態を取得する「出力(読み込み)演算」に分類した. さらに, 「更新演算」は, オブジェクトの状態を全て更新する「全更新演算」とオブジェクトの状態を部分的に更新する「部分更新演算」に分類した. 3-(1)の実験結果から, 実サーバ上で稼働した複数の仮想マシン上に複数のオブジェクトを配置し, 各オブジェクト上でトランザクションから発行された演算を実行した場合の仮想マシンの計算モデルとして, DAVM(Data Access model for Virtual Machine environments)モデルを定義した. DAVMモデルでは, ある時刻 τ で実行されている各仮想マシン上の更新演算と出力演算に割り当てられる更新(書込み)レート $[B(\text{Bytes})/\text{sec}]$ および出力(読み込み)レート $[B/\text{sec}]$ は, 時刻 τ において実サーバ上で同時実行される更新演算と出力演算の数に依存する. 実サーバ上で同時実行される更新演算が増加すれば, 各更新演算に割り当てられる更新レートが減少する. また, 実サーバ上で同時実行される出力演算が増加すれば, 各出力演算に割り当てられる出力レートが減少する. さらに, 更新演算と出力演算が同時実行される場合, 同時実行される更新・出力演算数が増加すれば, 各更新・出力演算に割り当てられる更新・出力レートが減少する.

(2) 実サーバの電力消費モデル

3-(2)の実験結果から, 実サーバ上で稼働した複数の仮想マシン上に複数のオブジェクトを配置し, 各オブジェクト上でトランザクションから発行された演算を実行した場合の実サーバの電力消費モデルとして, PCDAVM(Power Consumption model for Data Access in Virtual Machine environments)モデルを定義した. PCDAVMモデルでは, ある時刻 τ での実サーバの基本電力 $BE(\tau)$ [W] は, 実サーバ内で稼働状態のコア数およびスレッド数に依存する. 実サーバ内で稼働するコア数, スレッド数が増加すれば, 実サーバの基本電力 $BE(\tau)$ [W] も増加する. 実サーバ内で稼働状態のコアがなければ, 実サーバの基本電力 $BE(\tau)$ [W] は, 最小値(待機電力)となる. ここで, ある時刻 τ での実サーバの電力 $E(\tau)$ [W] は, 基本電力 $BE(\tau)$ [W] に加えて, 時刻 τ で同時実行されている更新演算数と出力演算数に依存する. WE [W] を実サーバ内で更新演算のみが実行された場合の電力とする. RE [W] を実サーバ内で出力演算のみが実行された場合の電力とする. $WRE(\alpha(\tau))$ [W] を実サーバ内で更新演算と出力演算が同時実行された場合の電力とする. $\alpha(\tau)$ ($0 \leq \alpha(\tau) \leq 1$) は, 時刻 τ で同時実行される総演算数に対する更新演算の割合を示し, 更新演算数の割合が多いほど大きな値となる ($RE(\tau) \leq WRE(\alpha(\tau)) \leq WE(\tau)$). よって, ある時刻 τ で更新演算のみが実行された場合の実サーバの電力 $E(\tau)$ [W] は, $BE(\tau) + WE(\tau)$ [W] となる. 出力演算のみが実行された場合の実サーバの電力 $E(\tau)$ [W] は, $BE(\tau) + RE(\tau)$ [W] となる. また, 更新演算と出力演算が同時実行された場合の実サーバの電力 $E(\tau)$ [W] は, $BE(\tau) + WRE(\alpha(\tau))$ [W] となる. 以上のことから, PCDAVMモデルでは, 実サーバ内で稼働するコア数, スレッド数, および同時実行される更新演算数の割合が増加すれば, 実サーバの電力 $E(\tau)$ [W] も増加する.

(3) IEEQS-VM アルゴリズム

本研究では, 多重化されたオブジェクトに対する同時実行制御方式の1つであるコーラム方式を拡張した同時実行制御方式を提案した. はじめに各演算のコーラム選定時に(1)および(2)で定式化した仮想マシンの計算モデルと実サーバの電力消費モデルをもとにシステム全体の消費電力量が最少となるコーラムを選定する EEQS-VM(Energy-Efficient Quorum Selection with Virtual Machines)アルゴリズムを提案した. EEQS-VMアルゴリズムでは, 定式化した仮想マシンの計算モデルと実サーバの電力消費モデルをもとに対象となる演算を多重化されたオブジェクト上で実行した場合の実行時間とその演算を実行した場合にシステム内で消費される電力量 $[J]$ を推定する. EEQS-VMアルゴリズムは, この結果をもとに対象となる演算を実行した場合に, システム内で消費される電力量 $[J]$ が最小となるコーラムを選定する. 評価では, シミュレーション環境を用いて, マルチコアCPUを搭載した10台の実サーバでクラスタを構成し, 多重度(レプリカ数)を5とした50個のオブジェクトを10台の実サーバ上で稼働する仮想マシンに配置した. 各オブジェクトの保有するデータ量や配置する仮想マシンはランダムに決定した. また, 各トランザクションは, 50個のオブジェクトで提供される演算から3つの演算をランダムで選択し発行する. また, 各トランザクションの開始時刻は, 0から360[秒]の間でランダムに決定される. 以上の条件のもと, システム内で発行されるトランザクション数を0から500に変化させた場合の EEQS-VMアルゴリズムと従来のコーラム方式(Random選択方式)でのシステム全体の電力量[KJ]と各トランザクションの平均実行時間[sec]を図1と図2に示す. 評価結果より, EEQS-VMアルゴリズムが従来のコーラム方式に比べて, システム全体の電力量[KJ]と各トランザクションの実行時間[sec]を削減できていることが分かる.

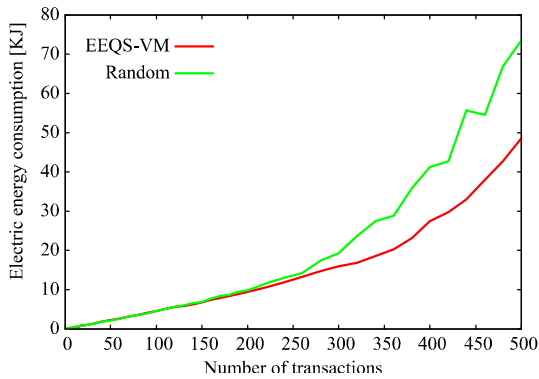


図 1 電力消費量

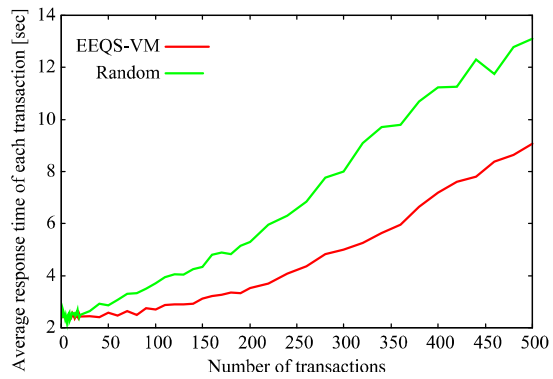


図 2 平均実行時間

つぎに、各オブジェクト上で実行される演算の実行系列と演算の特性をもとに各オブジェクト上で実際の実行を省略できる無意味な演算を定義した。本研究では、各オブジェクト上で実行される全更新演算と部分更新演算の実行系列と演算の特性をもとに「無意味な更新演算」を定義した。各オブジェクト上で、ある全更新演算が別の全更新演算または部分更新演算の直後に実行されるのであれば、先行する全更新演算または部分更新演算は、無意味な更新演算となる。

以上の無意味な演算の定義をもとに EEQS-VM アルゴリズムを改良して、各演算のコラム選定時にシステム全体の消費電力量が最少となるコラムを選定し、かつ、各オブジェクト上で無意味な更新演算の実行を省略できる IEEQS-VM (Improved EEQS-VM) アルゴリズムを提案した。IEEQS-VM アルゴリズムでは、あるオブジェクト o が更新演算 op の実行要求を受信した場合、要求された更新演算 op を実行する前に要求元のトランザクションに実行完了応答を返送する。ここで、要求された更新演算 op は、オブジェクト o 上で次に実行される演算 op' が確定するまで実行されない。オブジェクト o 上で更新演算 op の次に実行される演算 op' が確定した時、もし、更新演算 op が無意味な演算であれば、無意味な更新演算 op を実行せずに演算 op' を実行する。すなわち、オブジェクト o 上で無意味な更新演算 op の実行が省略される。更新演算 op が無意味な更新演算とならない場合は、更新演算 op を実行後、演算 op' を実行する。IEEQS-VM アルゴリズムでは、各オブジェクト上で無意味な更新演算の実行を省略できるため、EEQS-VM アルゴリズムに比べて、システム全体の消費電力量の削減およびシステムのスループットの向上が可能となる。評価では、シミュレーション環境を用いて、マルチコア CPU を搭載した 8 台の実サーバでクラスタを構成し、多重度 (レプリカ数) を 4 とした 50 個のオブジェクトを 8 台の実サーバ上で稼働する仮想マシンに配置した。各オブジェクトの保有するデータ量や配置する仮想マシンはランダムに決定した。また、各トランザクションは、50 個のオブジェクトで提供される演算から 3 つの演算をランダムで選択し発行する。また、各トランザクションの開始時刻は、0 から 360 [秒] の間でランダムに決定される。以上の条件のもと、システム内で発行されるトランザクション数を 0 から 500 に変化させた場合の IEEQS-VM アルゴリズムと EEQS-VM アルゴリズムでのシステム全体の電力量 [KJ] と各トランザクションの平均実行時間 [sec] を図 3 と図 4 に示す。評価結果より、IEEQS-VM アルゴリズムが EEQS-VM アルゴリズムに比べて、システム全体の電力消費量 [KJ] と各トランザクションの実行時間 [sec] を削減できていることが分かる。

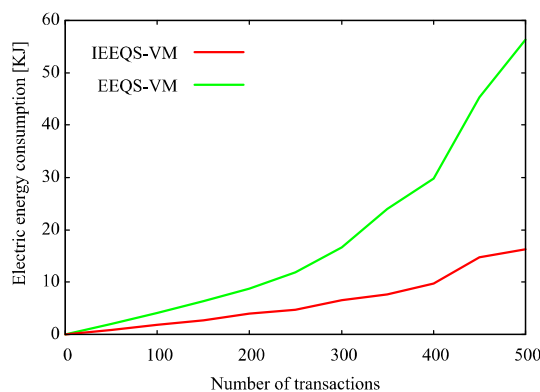


図 3 電力消費量

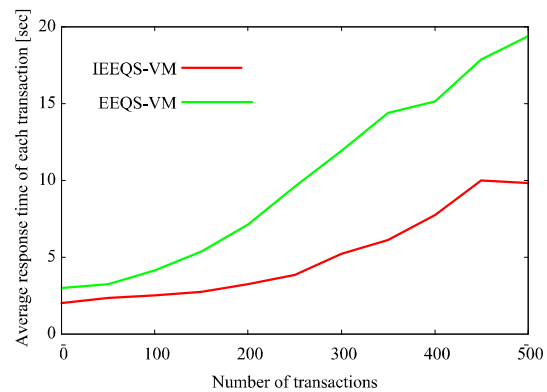


図 4 平均実行時間

評価結果より、本研究で提案した IEEQS-VM アルゴリズムは、応用サービスの信頼性、可用性の向上のためにクラウド・システム内の複数の仮想マシンに多重化されたオブジェクトに対して、システム全体の消費電力量を削減し、かつスループットを向上できる。本研究の成果は、拡張性、信頼性、可用性に優れたクラウド・システムを消費電力量の観点からも有効な情報システム基盤として発展させることができる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tomoya Enokido and Makoto Takizawa	4. 巻 Volume 9 (Online First))
2. 論文標題 The Redundant Energy Consumption Laxity Based Algorithm to Perform Computation Processes for IoT Services	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Internet of Things	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.iot.2020.100165	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件／うち国際学会 14件）

1. 発表者名 Tomoya Enokido, Dilawaer Duolikun, and Makoto Takizawa
2. 発表標題 The Improved Redundant Active Time-Based (IRATB) Algorithm for Process Replication
3. 学会等名 The 35th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA-2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoya Enokido, Dilawaer Duolikun, and Makoto Takizawa
2. 発表標題 The Redundant Active Time-Based Algorithm with Forcing Meaningless Replica to Terminate
3. 学会等名 The 15th International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS-2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoya Enokido, Dilawaer Duolikun, and Makoto Takizawa
2. 発表標題 The Improved Redundant Active Time-Based Algorithm with Forcing Termination of Meaningless Replicas in Virtual Machine Environments
3. 学会等名 The 24th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS-2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoya Enokido, Dilawaer Duolikun, and Makoto Takizawa
2. 発表標題 An Energy-Efficient Process Replication by Differentiating Starting Time of Process Replicas in Virtual Machine Environments
3. 学会等名 The 16th International Conference on Broad-Band Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA-2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoya Enokido, Dilawaer Duolikun, and Makoto Takizawa
2. 発表標題 An Energy-Efficient Process Replication to Reduce the Execution of Meaningless Replicas
3. 学会等名 The 10th International Conference on Emerging Internet, Data and Web Technologies (EIDWT-2022) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoya Enokido and Makoto Takizawa
2. 発表標題 The Power Consumption Model of a Server to Perform Data Access Application Processes in Virtual Machine Environments
3. 学会等名 The 34th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA-2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoya Enokido and Makoto Takizawa
2. 発表標題 Energy-Efficient Quorum-Based Locking Protocol in Virtual Machine Environments
3. 学会等名 The 14th International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS-2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoya Enokido and Makoto Takizawa
2. 発表標題 The Energy-Efficient Object Replication Scheme by Omitting Meaningless Write Methods in Virtual Machine Environments
3. 学会等名 The 23rd International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS-2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoya Enokido and Makoto Takizawa
2. 発表標題 The Energy-Efficient Object Replication by Excluding Meaningless Methods in Virtual Machine Environments
3. 学会等名 The 15th International Conference on Broad-Band and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA-2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoya Enokido and Makoto Takizawa
2. 発表標題 The Improved Active Time-Based (IATB) Algorithm with Multi-threads Allocation
3. 学会等名 The 9-th International Conference on Emerging Internet, Data & Web Technologies (EIDWT-2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoya Enokido, Dilawaer Duolikun, and Makoto Takizawa
2. 発表標題 The Improved Energy Consumption Laxity Based (IECLB) Algorithm to Perform Computation Processes
3. 学会等名 The 13th International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS-2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoya Enokido, Dilawaer Duolikun, and Makoto Takizawa
2. 発表標題 An Energy-Efficient Process Replication Algorithm with Multi-threads Allocation
3. 学会等名 The 22nd International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS-2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoya Enokido and Makoto Takizawa
2. 発表標題 Energy-Efficient Purpose Ordering Scheduler
3. 学会等名 The 14th International Conference on Broad-Band Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA-2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoya Enokido and Makoto Takizawa
2. 発表標題 The Improved Redundant Energy Consumption Laxity-Based Algorithm with Differentiating Starting Time of Process Replicas
3. 学会等名 The 8th International Conference on Emerging Internet, Data and Web Technologies (EIDWT-2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------