

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23300029

研究課題名(和文)異種分散型P2Pシステムにおけるエコ・モデルの研究

研究課題名(英文)Eco Models in Heterogeneous Peer-to-peer (P2P) Systems

研究代表者

滝沢 誠 (TAKIZAWA, Makoto)

法政大学・理工学部・教授

研究者番号：80188119

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,400,000円

研究成果の概要(和文)：情報システムは、コンピュータ、センサ等の種々の情報機器を含んだ異なるものとなっている。こうしたシステムでは、これまでの応答時間、スループット等の性能目標に加えて、新たにシステム全体の消費電力の低減が重要となってきた。本研究では、自律的な対等なプロセスから構成される完全分散型の大規模P2Pシステムを考える。ピア間の自律的な協調動作により、システム全体の消費電力を低減できる分散型システムの新しいモデル、特に消費電力については実際のコンピュータの消費電力の実測に基づいて、消費電力のモデルの構築を行った。このモデルに基づいて、ピア間の分散型の協調動作方式を研究し、評価を行った。

研究成果の概要(英文)：Information systems are composed of nodes like computers and sensors interconnected in networks. Here, we have to reduce the total electric energy consumed by nodes in addition to achieving traditional performance objectives. In this research, we proposed a power consumption model of a node to perform application processes. We first measure the total electric power of types of computers to perform application processes and then abstract essential parameters which dominate the power consumed by nodes. The power consumption model which we proposed is referred to as simple power consumption (SPC) model. Here, a computer consumes maximum power [W] if at least one process is performed, otherwise consumes minimum power. Based on the SPC model, we proposed the energy-aware server selection (EA) algorithm and evaluated the EA model. In the evaluation, we showed not only the total power consumption of a server cluster but also the average execution time of each process are reduced.

研究分野：情報工学

キーワード：ネットワーク 省電力化 エコシステム 分散システム P2Pネットワーク

1. 研究開始当初の背景

京都議定書, COP21 等で国際的に議論されてきているように、CO₂削減等の地球温暖化対策が社会的に最重要な喫緊の課題の一つとなってきている。このためには、情報通信システムの分野においても、コンピュータ、さらにセンサ、ロボット、家電等の情報機器で消費される電力を低減することが必要となっている。本研究課題では、情報通信システムで消費される電力を低減することを目指している。これまでに、インテル社の低消費電力 CPU の開発、低消費電力ルータ、アーキテクチャ等のハードウェア・デバイスに関する研究と開発が活発に行われてきている。これにより、低消費電力コンピュータが利用できるようになってきている。コンピュータでは、プロセスが実行されることによりハードウェアが動作し電力が消費される。このため、個々のハードウェア・デバイスの消費電力を議論するのではなく、プロセスを実行したときのコンピュータ全体で消費される電力を与える**電力消費モデル(power consumption model)**を求めることが必要である。

2. 研究の目的

本研究課題は、情報通信システムで消費される電力を低減する研究である。このために、以下についての研究を行うことが、本研究課題の目的である。

(1)このために、コンピュータでアプリケーション・プロセスが実行されるときに消費される電力 [W] を示す「電力消費 (power consumption)」モデルを明らかにする。

(2) 電力消費モデルを基にして、利用者の要求プロセスを実行するコンピュータを、デッドラインといった性能目標を達成しながら、消費される電力を低減するアルゴリズムを研究開発し評価を行なう。

(3)分散型の P2P(peer-to-peer)モデルのシステムを考え、ピア(プロセス)間の信用可能性を研究する。

以降「プロセス」は、コンピュータで実行されるアプリケーション・プロセスを意味するものとする。

3. 研究の方法

(1) マクロレベル・アプローチ

情報システムの電力低減化については、低電力 CPU 等のハードウェア、アーキテクチャの研究がインテル社等のメーカーを中心にこれまでも行われてきている。コンピュータの消費電力は、ハードウェアのみならず動作するソフトウェアに依存する。このため、本研究課題では、まず各種のプロセスを実際に動作させたときのコンピュータの**消費電力を実測する**。実測データを収集、解析し、コンピュータの消費電力に最も本質的に決定するパラメータを抽出する。本研究課題では、こうした**マクロレベルのアプローチ**

(macro-level approach)を提案している点に特徴がある。

プロセスとして、CPU を利用する計算型(C: computation)プロセス、HDD 等のストレージをアクセスするストレージ型(S: storage)プロセス、ファイル転送等を行う通信型(CM: communication)プロセスを考える。本研究課題では、計算型(C)型プロセスを対象として考える。

4. 研究成果

(1) 電力消費モデル

本研究課題により、コンピュータの消費電力モデルとしての**単純電力消費(SPC: simple power consumption)モデル**を明らかにした。複数のサーバから構成されるクラスタ S を考える。クライアントから要求されたプロセス p_i は、クラスタ S 内のサーバ s_j により実行される。

サーバ s_j で、時刻 τ で実行されているプロセスの集合を $CP_j(\tau)$ とする。 $E_j(\tau)$ を、コンピュータ s_j が時刻 τ で消費する電力 [W] とする。 $E_j(\tau)$ は、サーバ s_j で一つでもプロセスが実行されていると最大電力 $maxE_j$ [W] となる。また、一つのプロセスも実行されていないときは最小電力 $minE_j$ を消費する [図 1]。

$$E_j(\tau) = \begin{cases} maxE_j & \text{if } |CP_j(\tau)| \geq 1 \\ minE_j & \text{otherwise.} \end{cases}$$

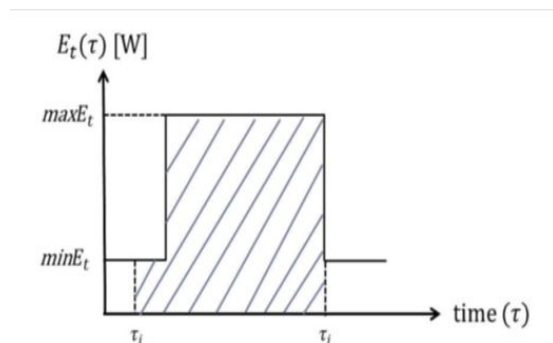


図 1 SPC モデル

サーバ s_j が時刻 τ_1 から τ_2 までに消費される総電力 [Ws] $EE_j(\tau_1, \tau_2)$ は、以下となる。

$$EE_j(\tau_1, \tau_2) = \int_{\tau_1}^{\tau_2} E_j(\tau) d\tau = (\tau_2 - \tau_1) E_j(\tau)$$

図 2 の斜線部が総消費電力を示している。マルチコア・マルチスレッド CPU を備えたサーバについての多レベル電力消費 (MLPC: multilevel power consumption) モデルの研究も行っている。

(2) 計算モデル

次に、サーバ・コンピュータでプロセスを実行したときの実行時間について考える。 n

台のサーバ s_1, \dots, s_n から構成されるクラスタ S を考える。各サーバ s_i で、より多くのプロセスが実行されると、各プロセスの平均実行時間は長くなる。各プロセス p_i が、サーバ s_i で単独で実行されたときの実行時間を最短実行時間 $minT_{i,1}[\text{sec}]$ とする。サーバ s_i でのプロセス p_i の実行時間 $T_{i,j}$ は、最短実行時間 $minT_{i,1}$ より長くなる。 $minT_i$ は、クラスタ S 内の各サーバでの最短実行時間 $minT_{i,1}, \dots, minT_{i,n}$ の最小値とする。最速サーバ s_i でプロセス p_i を実行したときの最短実行時間 $minT_i$ となる。プロセス p_i の総計算量を示すために、クラスタ S 内の最速サーバ s_i では、単位時間に一つの仮想計算ステップ(VS: virtual computation step)が実行されるとする。サーバ s_i の最大計算速度(maximum computation rate) $maxF_i$ は、1 [VS/sec] となる。プロセス p_i の総計算量は、 $maxT_i \times maxF_i = maxC_i$ [VS] となる。各サーバ s_i の最大計算速度 $maxF_i$ は、 $minT_i / minT_{i,1} (< 1)$ となる。以下の条件が成り立つ。

[単純計算モデル] 任意の二つのプロセス p_i と p_j に対して、 $minT_i / minT_{i,1} = minT_j / minT_{j,1}$ となる。

サーバ s_i で実行されているプロセス p_i の計算速度 $F_{i,j}(\cdot)$ は、 $maxF_i / |CP_i(\cdot)|$ となる [図2]。同時に実行されているプロセスが増える程、各プロセスの実行速度は低下する。プロセス p_i の計算残量 $lc_i(\cdot)$ は、 $VS_i (= minT_i)$ である。単位時間 Δt で、計算残量 $lc_i(\cdot)$ から $F_{i,j}(\cdot)$ が減じられる。計算残量 $lc_i(\cdot)$ が 0 になった時刻 t_{end} にプロセス p_i は終了する。

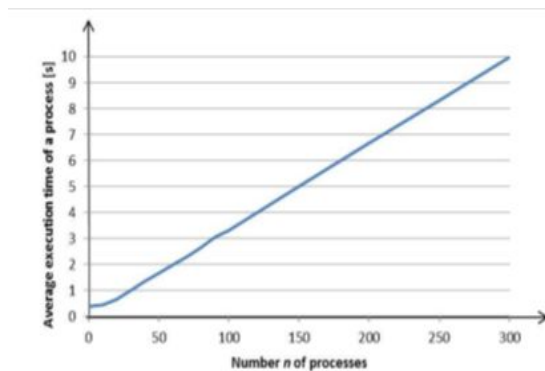


図2 計算モデル

(3) サーバ選択方式

クライアントから要求されたプロセス p_i に対して、クラスタ S 内の一つのサーバ s_i が選択される。これまで、ラウンド・ロビン方式等が用いられてきている。ここでは、サーバの負荷、応答時間、スループット等の性能目標の達成を目標としている。性能目標に加えて、クラスタ S 内のサーバの消費電力

を低減するものが新たに必要となる。本研究課題では、クラスタ S 内の全サーバの総消費電力を低減するようにプロセス p_i をサーバを選択する EA(Energy-aware)サーバ選択アルゴリズムの研究を行った。計算モデルにより、サーバ s_i でプロセス p_i を実行させたときの予想終了時間 $et_{i,j}$ を見積もることができる。サーバ s_i で実行中のプロセス p_j についても終了時間 $et_{i,j}$ を見積もることができる。このように、プロセス p_i を、時刻 t でサーバ s_i に割り当てて実行させたとき、実行中のすべてのプロセスとプロセス p_i が終了する時間 T_i を見積もる。このときの総消費電力 EE_i は、 $T_i \times maxE_i$ [Ws] となる。

サーバ選択アルゴリズム EA を以下に示す。

[EA 選択アルゴリズム]

1. プロセス p_i は、予想消費電力 EE_i が最小となり、かつ予想終了時間 $et_{i,j}$ がデッドライン制約を充足するサーバ s_i を選択する。
2. プロセス p_i を、サーバ s_i に送り、実行される。
3. サーバ s_i は、結果をクライアントに返す。

(4) 評価

EA アルゴリズムを、ラウンド・ロビン(RR)アルゴリズムとランダム(RD)アルゴリズムと比較して、クラスタ内の全サーバの総消費電力 [Ws] と各プロセスの平均実行時間について評価を行う。クラスタ S は、 n 台のサーバ s_1, \dots, s_n から構成される。各サーバ s_i の最大消費電力 $maxE_i$ 、最小消費電力 $minE_i$ 、最大計算速度 $maxF_i$ は、実測値をもとにランダムに与える。 m 個のプロセス p_1, \dots, p_m がランダムにクラスタに発行される。プロセス p_i は、サーバ選択アルゴリズムにより、サーバが決定されて実行される。

図3は、サーバ4台のときの総消費電力をプロセス数 m に対して示す。RR、RD アルゴリズムと比較して、EA アルゴリズムでは、クラスタ全体の総消費電力を低減できることがわかる。また、EA アルゴリズムでは、プロセス数の増加に対して、総消費電力の増加する割合が小さい。

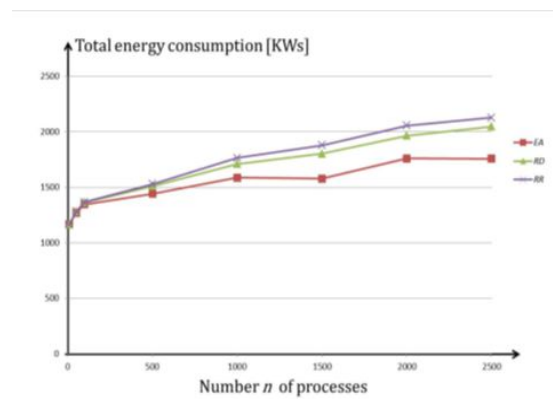


図3 消費電力

図4には、各プロセスの平均実行時間を示す。プロセスの平均実行時間は、RR、RD アルゴリズムと比較して、短くなることがわかる。

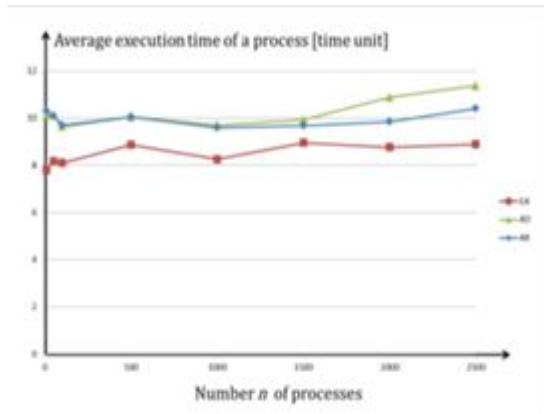


図4 平均実行時間

以上から、EA アルゴリズムは、クラスタ全体の消費電力を低減できるのみならず、各プロセスの平均実行時間も短縮できることがわかる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 88 件)

- Tomoya Enokido, Ailixier Aikebaier, and Makoto Takizawa, Energy-Efficient Redundant Execution of Processes in a Fault-tolerant Cluster of Servers, *International Journal of Parallel Programming (IJPP)*, 査読有, Vol. 42, No. 5, Oct. 2014, pp. 798-819 (doi: 10.1007/s10766-013-0270-9).
- Tomoya Enokido, Ailixier Aikebaier, and Makoto Takizawa, Energy-Efficient Server Clusters to Perform Communication Type Application Processes, *Journal of Supercomputing*, 査読有, Vol. 69, No. 3, Sept. 2014, pp.1087-1102 (doi: 10.1007/s11227-013-1025-5).
- Tomoya Enokido, Ailixier Aikebaier, and Makoto Takizawa, An Extended Simple Power Consumption Model for Selecting a Server to Perform Computation Type Processes in Digital Ecosystems, *IEEE Transactions on Industrial Informatics (TII)*, 査読有, Vol.10, No. 2, May 2014, pp.1627-1636 (doi: 10.1109/TII.2014.2303315).
- Dilawaer Doulikun, Ailixier Aikebaier, and Makoto Takizawa, A Hybrid Clock Group Communication Protocol,

International Journal of Adaptive and Innovative Systems (IJ AIS), 査読有, Vol. 2, No.1, Jan. 2014, pp.59-72 (doi: 10.1504/IJ AIS.2014.061048).

- Akio Koyama, Shohei Sato, Leonard Barolli, and Makoto Takizawa, A Visualization System for Mobile Ad-hoc Networks, *Journal of Mobile Multimedia (JMM)*, 査読有, Vol.9, Nos.1/2, Nov. 2013, pp.155-170.
- Hanh Le, Joshua van Eck, and Makoto Takizawa, An Efficient Hybrid Medium Access Control Technique for Digital Ecosystems, *IEEE Transactions on Industrial Electronics (TIE)*, 査読有, Vol.60, No.3, March 2013, pp.1070-1076 (doi: 10.1109/TIE.2011.2173889).
- Tomoya Enokido and Makoto Takizawa, An Integrated Power Consumption Model for Distributed Systems, *IEEE Transactions on Industrial Electronics (TIE)*, 査読有, Vol.60, No.2, February 2013, pp.824-836 (doi: 10.1109/TIE.2012.2206357).
- Tomoya Enokido, Ailixier Aikebaier, and Makoto Takizawa, Process Allocation Algorithms for Saving Power Consumption in Peer-to-Peer Systems, *IEEE Transactions on Industrial Electronics (TIE)*, 査読有, Vol.58, No.6, June 2011, pp.2097-2105 (doi: 10.1109/TIE.2010.2060453).
- Tomoya Enokido and Makoto Takizawa, Purpose-based Information Flow Control for Cyber Engineering, *IEEE Transactions on Industrial Electronics (TIE)*, 査読有, Vol.58, No.6, June 2011, pp.2216-2225 (doi: 10.1109/TIE.2010.2051393).

[学会発表](計 227 件)

- Barolli, Fatos Xhafa, Makoto Takizawa, and Vincenzo Loia, Analysis of WMN-GA Simulation System Results: A Comparison Study for Node Placement in WMNs Considering Exponential and Weibull Distributions and Different Transmission Rates. *Proc. of the 9th International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA-2014)*, Guangzhou, China, Nov. 2014, pp.139-144.
- Tomoya Enokido and Makoto Takizawa, The Improved Delay Time-Based (IDTB) Algorithm to Perform Computation Type Application Processes, *Proc. of the 17th International Conference on Network-based Information Systems*

(NBIS-2014), Saelrno, Italy, Sept. 2014, pp.31-38.

Dilawaer Duolikun, Ailixier Aikebaier, Tomoya Enokido, and Makoto Takizawa, Power Consumption Models for Migrating Processes in a Server Cluster, Proc. of the 17th International Conference on Network-based Information Systems (NBIS-2014), Saelrno, Italy, Sept. 2014, pp.15-22.

Tomoya Enokido, Makoto Takizawa, and S. Misbah Deen, The Delay Time-Based (DTB) Algorithm for Energy-Efficient Server Cluster Systems, Proc. of the 8th International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS-2014), Birmingham, UK, July 2014, pp.294-301.

Dilawaer Duolikun, Ailixier Aikebaier, Tomoya Enokido, and Makoto Takizawa, Power Consumption Models for Redundantly Performing Mobile-Agents, Proc. of the 8th International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS-2014), Birmingham, UK, July 2014, pp.185-190.

Admir Barolli, Tetsuya Oda, Evjola Spaho, Leonard Barolli, Fatos Xhafa, and Makoto Takizawa, WMN-GA for Node Placement in WMN: Evaluation and Visualization Using HotSpot Ad-Hoc Method, Proc. of the 8th International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS-2014), Birmingham, UK, July 2014, pp.23-29.

Shigenari Nakamura, Dilawaer Doulikun, Ailixier Aikebaier, Tomoya Enokido, and Makoto Takizawa, Role-Based Information Flow Control Models, Proc. of IEEE the 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2014), Victoria, Canada, May 2014, pp.1140-1147.

Fatos Xhafa, Xavier Herrero, Admir Barolli, and Makoto Takizawa, A Tabu Search Algorithm for Ground Station Scheduling Problem, Proc. of IEEE the 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2014), Victoria, Canada, May 2014, pp.1033-1040.

Tomoya Enokido, Ailixier Aikebaier, and Makoto Takizawa, Evaluation of the Extended Improved Redundant Power Consumption Laxity-Based

(EIRPCLB) Algorithm, Proc. of IEEE the 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2014), Victoria, Canada, May 2014, pp.940-947.

〔図書〕(計 16 件)

滝沢誠、榎戸智也, 分散システム: P2P モデル, コロナ社, 2014, 167 pages.
Tomoya Enokido, Takuro Inoue, Ailixier Aikebaier, and Makoto Takizawa, Macro Level Methods of Power Consumption for Servers in Distributed Systems, Chapter 3 in Evolutionary Based Solutions for Green Computing (S. U. Khan, J. Kołodziej, J. Li, A. Y. Zomaya (Eds.)), 256 pages), Studies in Computational Intelligence, Vol. 432, Springer, 2013, pp.55-94.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

滝沢 誠 (TAKIZAWA, Makoto)
法政大学・理工学部・教授
研究者番号: 8 0 1 8 8 1 1 9

(2) 研究分担者

バロリ レオナルド (BAROLLI, Leonard)
福岡工業大学・情報工学部・教授
研究者番号: 4 0 3 1 2 7 2 2

榎戸智也 (ENOKIDO, Tomoya)
立正大学・経営学部・教授
研究者番号: 1 0 3 6 0 1 5 8

小山明夫 (KOYAMA, Akio)
山形大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号: 6 0 3 1 5 6 7 9

池田 誠 (IKEDA, Makoto)
福岡工業大学・情報工学部・准教授
研究者番号: 1 0 5 9 2 9 4 1