

最大アクセス間隔にもとづく放置VMのシャットダウンによる消費電力削減

田中 美帆¹ 三上 智徳¹ 串田 高幸¹

概要: 研究室でテストサーバーとして使用されているサーバー内には放置されている VM がある。放置されている VM も電力を消費している。起動している VM が多いほど物理サーバーの消費電力は増加する。課題は、使用されていない VM や、放置されている VM が電力を消費していることである。本稿の提案は、使用頻度の低い VM をシャットダウンすることで VM の消費電力を削減することである。そのための提案手法として、VM ごとに SSH ログと HTTP ログを使用し最大アクセス間隔を取得する。各 VM の最大アクセス間隔の最頻値を計算する。最頻値よりも最大アクセス間隔が大きい VM はシャットダウンする。評価として、提案ソフトウェアを使用した際と使用していない際のサーバーの消費電力を比較する。結果として、サーバーにたてられている 33 台の VM を対象としてソフトウェアを実行し、最大アクセス間隔の最頻値は 7 日となり、13 台の VM がシャットダウンされた。VM が 33 台のときの消費電力は 104.7[W] であり、VM が 20 台のときの消費電力は 95.7[W] であった。約 8.6 % の消費電力を削減することができた。

1. はじめに

背景

電力の値段が世界的に高騰しており、2023 年 6 月に電気料金の中の規制料金が改定された^{*1}。電力会社は 2022 年 11 月より既に 2 割が事業停止していて、サービス提供中の新電力でも新規受付停止や電気料金の値上げといった措置が実行されている^{*2}。

サーバーを使用するとき電力を消費する。サーバー数が増加すると消費する電力も増加する。データセンターとはサーバーやネットワーク機器を設置するために特別に作られた建物である。データセンターの内部にはサーバーを収納するラックが並び、インターネットと接続できる高速回線、冷却装置、大容量電源といったサーバー設置に必要なすべての設備が整えられている [1]。世界中のデータセンターが消費している電力は、全世界の消費電力の 4 % に達している^{*3}。企業システムのアウトソース活用、AI や IoT の稼働増加によりデータの爆発的に増加するため、最新のデータセンターでのビッグデータ処理の需要が高まってい

る [2][3]。データセンターの消費電力量は年を追うごとに増えることが想定される^{*4}[4]。

VM とは Virtual Machine の略であり、仮想マシンのことである [5]。VM はコンピュータやマイクロプロセッサ (CPU/MPU) の動作を模した機能を実装し、まったく同じように振る舞うソフトウェアである。クラウドコンピューティング環境は、それぞれが一連の仮想マシン (VM) 上で実行されている [6]。VM は 1 つのサーバーに複数たてることができる [7]。VM クラスタは物理マシン上に展開する必要があるため、CPU、メモリ、ネットワーク帯域幅の適切なリソースが必要となる [8]。CPU は電力を多く消費するため、CPU の容量によって消費電力は変化する [9]。VM が起動している数に比例してサーバーの消費電力は多くなり費用もかかる [10]。研究室でテストサーバーとして使用されているサーバー内には放置されている VM がある。放置されている VM も電力を消費している [11]。

課題

サーバーや VM は常時起動しており、電力を使っているため消費電力や電気代が高くなる。本稿の課題は、使用されていない VM や放置されている VM を判断できないことである。VM の消費電力は 1 台起動するごとに消費電力が増加する。よって起動されている VM の数が多いほど消費

¹ 東京工科大学コンピュータサイエンス学部
〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1

^{*1} https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyoo/denkidai_kaitei.html, (参照 2023-12-04)

^{*2} <https://taiyoukou-secchi.com/column/cost-reduction/electricity-charges-increase>, (参照 2023-11-14)

^{*3} <https://cloud.watch.impress.co.jp/docs/special/1488665.html>, (参照 2024-01-11)

^{*4} <https://cloud.watch.impress.co.jp/docs/news/1448889.html>, (参照 2024-01-11)

電力は高くなる。課題を証明する基礎実験を行う。

課題の基礎実験

課題の基礎実験として、研究室のサーバーの消費電力を電力計を使用して測定した。起動 VM の数による消費電力の違いを図 1 に示す。VM が 1 台も起動していない状態のサーバーで電力は約 63.1[W] 消費する。VM が 1 台起動すると消費電力は 81.1[W] であるため 18.0w 増加した。2 台起動すると消費電力が 86.1[W] であるため VM が 1 台起動している状態と比べ 5.0[W] 増加した。3 台起動すると消費電力が 100.7[W] であるため 2 台起動している状態と比べ 14.6[W] 増加した。このことから VM は起動している限り電力を消費することや、起動している VM の数が多いほど消費電力が多くなるのが分かる。

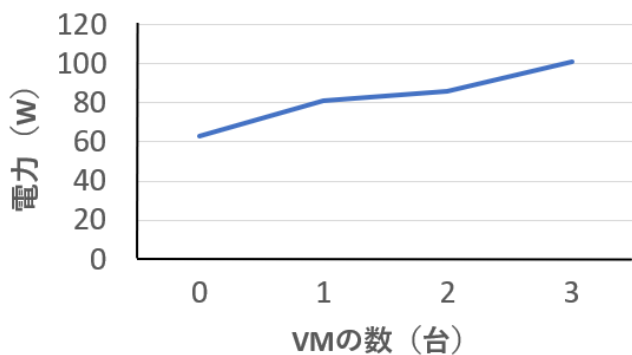


図 1 起動 VM の数による消費電力の違い

各章の概要

第 2 章以降の概要は以下の通りである。第 2 章では本稿の関連研究について述べる。第 3 章では本稿の課題を解決するための提案方式について述べる。第 4 章では提案方式をもとに作成したソフトウェアの実装について述べる。第 5 章では事件環境や、提案方式と実験結果についての評価を述べる。第 6 章では提案方式についての議論を述べる。第 7 章では本稿のまとめを述べる。

2. 関連研究

消費電力の高いサーバーから消費電力が低いサーバーへ VM を移行することで消費電力を削減する論文がある [12]。サーバー内の VM の実行時間はプロセスの総数に依存することから、プロセス数が多くプロセス実行時間が長い VM をプロセス実行時間が最小になると考えられるサーバーへ VM を移行することで消費電力を削減している。しかし移行するサーバーがあることが前提であり、アーキテクチャやオペレーティングシステムが異なるサーバーへ移行することは手間と時間がかかる。

負荷の低いサーバーから負荷の高いサーバーへ VM を移

行し起動している物理サーバーの台数を減らすことで消費電力を削減する論文がある [13]。物理サーバー 1 台当たりの消費電力を削減するのではなく、VM の負荷を集約することで物理サーバーの台数を減らし電力を削減している。しきい値を使用してサーバーが負荷不足や過負荷にならないよう制御している。しかし、VM ごとの負荷量によって物理サーバーが持つ VM の最適値が変化するため、VM が増えることで各物理サーバーへ割り当てる VM が変化することも考えられる。そのとき複数台の VM を移動する必要が労力が必要となる。

複数の異種サーバーと任意のサーバーを備えたデータセンターにおける、電力制約のあるパフォーマンスの最適化とパフォーマンス制約のある電力の最適化の問題についての論文がある [14]。複数の異種サーバーと任意のサーバーを備えたデータセンターにおける平均タスク応答時間と総消費電力をサーバー速度の関数として定式化し、サーバー速度はタスクの平均応答時間と総消費電力の両方を決定するため、最適なサーバー速度を見つけることによって最適化問題を定義する。デジタル回路が状態を切り替える速度は、その回路内の電圧差に比例する。最適なソリューションを見つけるアルゴリズムを開発し、データセンターレベルで電力とパフォーマンスのトレードオフを研究する分析的方法を提案している。しかし、この研究では使用できる電力量が決まっているが本稿では決まっていないので使用できる VM の数が異なる。

3. 提案

提案の基礎実験

提案方式の基礎実験として、研究室にある jasmine という名前のサーバーにたてられている普段個々が使用している VM を対象に行った。jasmine は VMware の ESXi を使用しており、CPU:Ryzen 7 3800X (8 コア), RAM:128GB である。jasmine の CPU 容量は 31.1[GHz], メモリ容量は 127.92[GB], ストレージ容量は 3.74[TB] である。

アクセスログからアクセスされた日を抽出し次にアクセスされた日との差の日数を算出する。算出された日数の数を計算する。2 台の VM の計算結果のグラフを図 2 に示す。図 2 との横軸はアクセス日の間隔であり前回のアクセスからの経過日数を表している。縦軸はアクセス間隔の回数を表している。

図 2 の VM1 では前回のアクセスからの経過日数が 1 日が 12 回, 前回のアクセスからの経過日数が 5 日が 1 回, 前回のアクセスからの経過日数が 12 日が 1 回である。最大アクセス間隔は 12 日である。

図 2 の VM2 では前回のアクセスからの経過日数が 1 日が 7 回, 前回のアクセスからの経過日数が 2, 3, 5, 6, 7 日がそれぞれ 1 回ずつである。最大アクセス間隔は 7 日である。

アクセス間隔は VM によって異なり、アクセス間隔が大きい VM を放置 VM と判断するしきい値を決める。

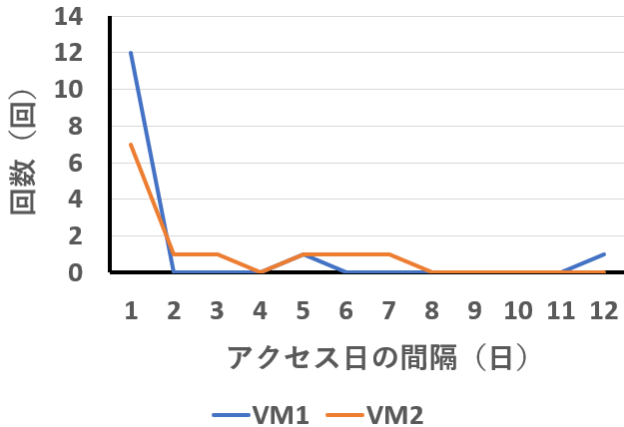


図 2 2 台の VM のアクセス間隔の数

提案方式

本稿の提案では、VM への最大アクセス間隔からシャットダウンする VM を決定する。使用頻度の低い VM を特定するためにアクセスログを利用する。研究室では VM に直接アクセスし使用されるため SSH ログに記録される場合と、WordPress を使用しているためアクセスログが HTTP ログに記録される場合がある。研究室がユースケースであるため使用するアクセスログは SSH ログと HTTP ログとする。VM のアクセスログが残る期間は 1 ヶ月であるため VM が放置されているか判断する期間の対象は 1 ヶ月とする。

上記にある基礎実験から、使用頻度の低い VM であると判断するためのしきい値を決める。基礎実験で表されている図 2 から最大アクセス間隔が 12 日と 7 日であることが分かる。

最頻値は分布に偏りがあるケースで主に使われる。最頻値は外れ値の影響を受けにくく、中央値と比べると分布も配慮できるためである。VM にアクセスする間隔は人によって異なり外れ値が発生しやすいため最頻値を使用する。各 VM の最大アクセス間隔の最頻値をしきい値とする。しきい値より最大アクセス間隔が大きい VM は放置される期間が大きいためシャットダウンする。

SSH ログでの判定方法

図 3 の SSH ログでの判断方法をもとに説明する。まず始めに SSH ログを確認する。SSH ログの確認方法は、SSH ログを取得し、日付部分を切りとり使用する。最新の SSH ログは SSH ログを取得するためにアクセスした時のものであるため削除する。日付を格納したリストの要素が被らないように同じものは削除して、日付順に並べる。リストの前後の日付を取り出し差の日数を計算する。計算した差

の日数が一番大きいものを最大アクセス間隔とする。SSH ログが無いときに HTTP ログを確認する。

HTTP ログでの判定方法

図 4 の HTTP ログでの判断方法をもとに説明する。HTTP ログの確認方法は、HTTP ログを取得し、日付部分を切り取り使用する。ログを取得する際に VM にアクセスしたログは SSH ログに記録されるため、SSH ログの確認と異なり最新のアクセスログを削除しない。日付を格納したリストの要素が被らないように同じものは削除して、日付順に並べる。リストの前後の日付を取り出し差の日数を計算する。計算した差の日数が一番大きいものを最大アクセス間隔とする。

SSH ログと HTTP ログにアクセスログが無い場合は 1 ヶ月以内にアクセスしていないということである。よって最大アクセス間隔を unknown とし、シャットダウンする。

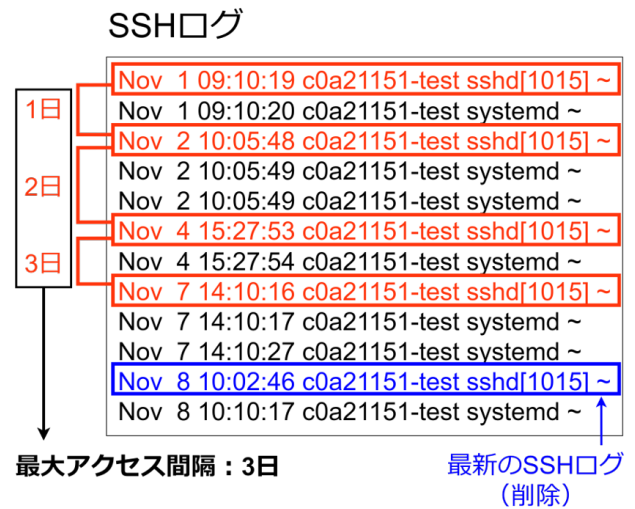


図 3 SSH ログでの判定方法

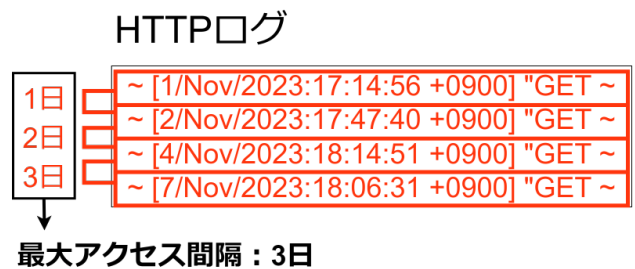


図 4 HTTP ログでの判定方法

ユースケース・シナリオ

クラウド・分散システム研究室をユースケースとして想定する。創成課題や卒業課題で実験環境や実装環境で使用するためにたてられる VM がある。例えば、串田研究室では

VM の使用方法として WordPress をたてるか Kubernetes を使用してマスターノードやワーカーノードとして使われる。これらの使用方法では、アクセスログは SSH ログと HTTP ログに記録される。たてられた VM の中には、基礎実験でしか使用されなかった VM や提案が変わったことで使用されなくなった VM がある。これらの放置 VM は使用されていなくても起動しているだけで電力を消費する。提案ソフトウェアにより図 5 のように SSH ログと HTTP ログから放置 VM を判断し、シャットダウンする。そうすることで、物理サーバーが消費する電力を削減することができる。

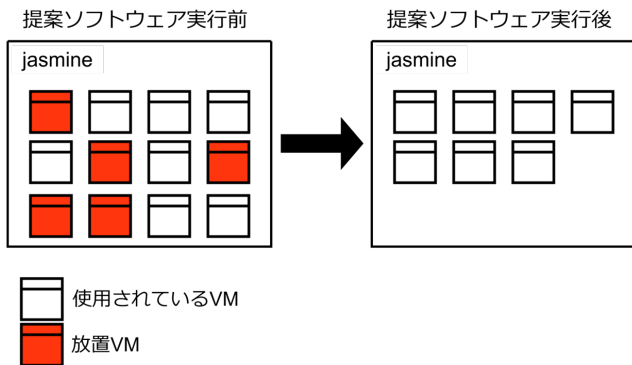


図 5 HTTP ログでの判定方法

4. 実装

提案方式よりサーバーで起動している VM ごとに最大アクセス間隔を算出し、最大アクセス間隔の最頻値からシャットダウンの有無を判断する。シャットダウン対象の VM をシャットダウンさせるソフトウェアを開発した。開発には Python というプログラム言語を使用した。

ソフトウェアの動作は図 6 をもとに説明する。

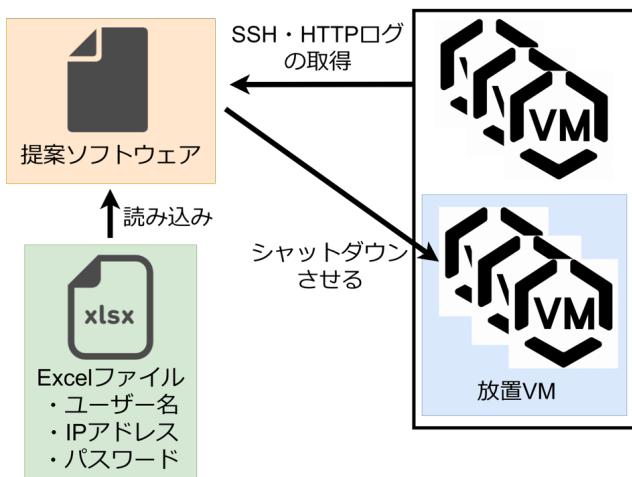


図 6 HTTP ログでの判定方法

Excel から jasmine にたてられている各 VM のユーザー

名, IP アドレス, パスワードを読み込む。VM ごとに SSH 接続し, SSH ログを取得する。

SSH ログでの判定方法

SSH ログの確認方法は, SSH ログを取得し, アクセスログの日付部分を切り取りリストに格納する。最新の SSH ログは SSH ログを取得するためにアクセスした時のものであるため削除する。日付を格納したリストの要素が被らないように同じものは削除して, 日付順に並べる。リストの前後の日付を取り出し差の日数を計算しアクセス間隔リストに格納する。日付の間隔を取得しているから間隔の数は 1 少なくなるため, この時格納される要素数は日付リストの要素の数より 1 つ少ない数となる。アクセス間隔リストに格納されている要素の一番大きいものを最大アクセス間隔とする。その値を各 VM の最大アクセス間隔を格納するリストに追加する。SSH ログが無い場合は HTTP ログを確認する。1 日の場合は最大アクセス間隔を 0 日とする。図 3 に SSH ログでの判断方法を示す。

SSH ログの判断後に HTTP ログを見る必要のある VM は, 再度アクセスし HTTP ログを取得する。HTTP ログを見る必要のない VM は次の VM の最大アクセス間隔の計算を行う。

HTTP ログでの判定方法

HTTP ログの確認方法は, HTTP ログを取得し, アクセスログの日付部分を切り取りリストに格納する。ログを取得する際に VM にアクセスしたログは SSH ログに記録されるため, SSH ログの確認と異なり最新のアクセスログも対象となるため削除しない。日付を格納したリストの要素が被らないように同じものは削除して, 日付順に並べる。リストの前後の日付を取り出し差の日数を計算しアクセス間隔リストに格納する。日付の間隔を取得しているから間隔の数は 1 少なくなるため, この時格納される要素数は日付リストの要素の数より 1 つ少ない数となる。アクセス間隔リストに格納されている要素の一番大きいものを最大アクセス間隔とする。その値を各 VM の最大アクセス間隔を格納するリストに追加する。HTTP ログが無い場合は最大アクセス間隔を unknown にする。1 日の場合は最大アクセス間隔を 0 日とする。

シャットダウンする VM の判定方法

各 VM の最大アクセス間隔を格納するリストに格納されている数値から最頻値を計算し, しきい値とする。最頻値が複数ある場合は値が大きい方をしきい値とする。しきい値より最大アクセス頻度が大きい VM は再度 SSH 接続し VM をシャットダウンする。また, 最大アクセス間隔が unknown の VM もシャットダウンする。

アルゴリズムを図 7 を例として説明する。図 7 は前回の

アクセスからの経過日数が1日が11回、前回のアクセスからの経過日数が3日が1回、前回のアクセスからの経過日数が5日が1回、前回のアクセスからの経過日数が6日が3回である。最大アクセス間隔は6日となる。各VMの最大アクセス間隔を格納するリストに6を追加する。

図8ではしきい値によってVMの起動を継続するかを判断を説明する。図8は最大アクセス間隔が1日のVMが5台、最大アクセス間隔が2日のVMが5台、最大アクセス間隔が5日のVMが1台、最大アクセス間隔が6日のVMが2台、最大アクセス間隔が7日のVMが6台、最大アクセス間隔が8日のVMが2台、最大アクセス間隔が9日のVMが2台、最大アクセス間隔が13日のVMが1台、最大アクセス間隔が24日のVMが1台である。図8の最大アクセス間隔の最頻値は7であるためしきい値は7日となる。そのため、最大アクセス間隔が7日以上VMはシャットダウンとなる。図7のVMは最大アクセス間隔が6日であるためシャットダウン対象外である。

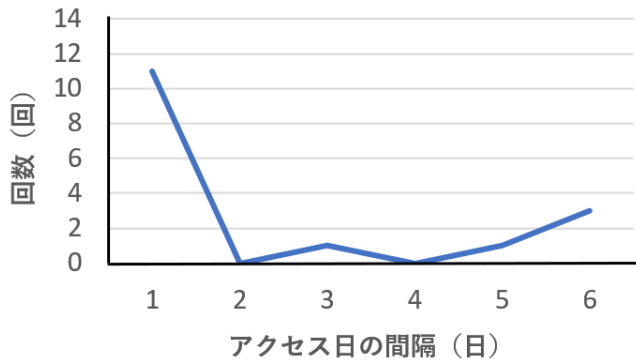


図7 Aさんのアクセス間隔

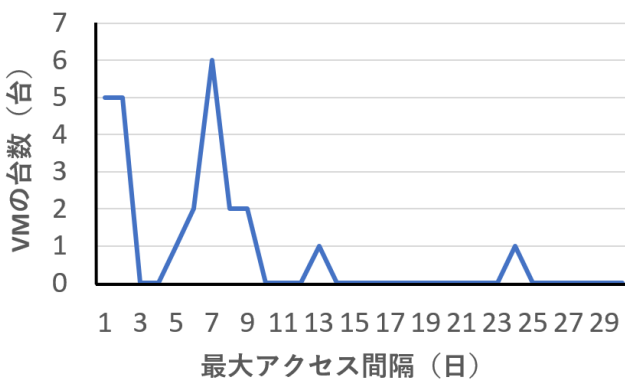


図8 しきい値の決定とシャットダウンするVMの判断

5. 評価実験

作成したソフトウェアを使用していない際と使用した際のサーバーの消費電力を比較して評価を行う。jasmineサーバーとコンセントの間に電力計繋ぐことで消費電力を計測する。

実験環境

実験環境の構成を図9をもとに説明する。実験環境には、研究室のVMware ESXiを使用しているjasmineサーバーを使用する。access_log_interval.pyファイルに作成したソフトウェアのプログラムが書かれている。実行するソフトウェアはjasmineにたてたVMにある。同VMにjasmineでたてられているVMごとにVM名、ユーザー名、IPアドレス、パスワードが記載されているExcelファイルであるvm_log_reference.xlsxがある。ソフトウェアはこのファイルを参照している。同VMにjasmineでたてられているVMごとにシャットダウンの有無を判断する。

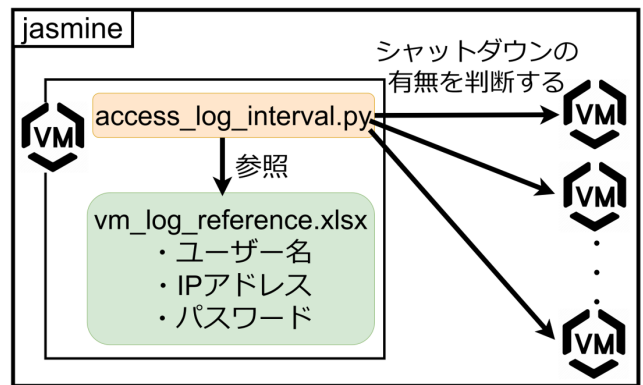


図9 評価実験環境の構成

実験結果と分析

実験対象であるjasmineサーバーには33台のVMがたてられている。ソフトウェアを実行すると13台がシャットダウンしたため、jasmineのVMは20台となる。ソフトウェア実行前と実行後の消費電力を図10に示す。ソフトウェア実行前の消費電力は104.7[W]であり、ソフトウェア実行後の消費電力は95.7[W]であった。ソフトウェア実行の前後で9.0[W]の消費電力が削減され、約8.6%の消費電力が削減された。

6. 議論

jasmineにたててある33台のVMのうち13台がシャットダウンしたが、削減された消費電力は約8.6%であった。VMごとにCPUやメモリの使用量により使用電力量は異なるため、シャットダウンしたときに削減できる消費電力量も異なる。そのため、使用電力量が明らかに多いVMはアクセス日数だけでしきい値を決めず、一定の日数内にアクセスされないときはシャットダウンさせる。

本稿の提案手法では、サーバーに放置VMが多いとき最大アクセス間隔の最頻値が大きくなり放置VMと判断されずシャットダウンされない。一定のアクセス間隔で放置VMと判断しシャットダウンさせる。

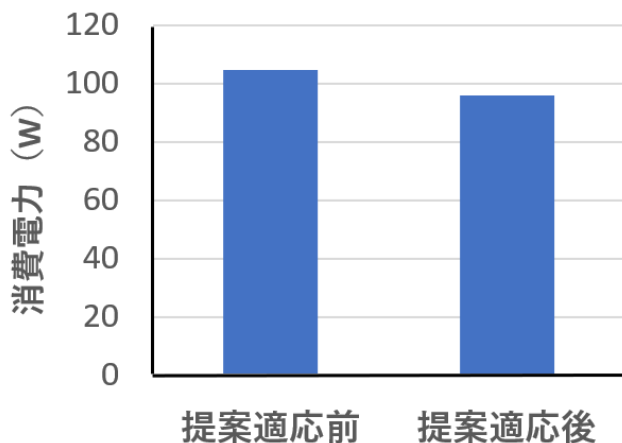


図 10 ソフトウェア実行前と実行後の消費電力

本稿の提案方式では、VM の最頻値を使用してシャットダウン対象を決定している。そのため、使用しているユーザのアクセス頻度によってしきい値が変化する。例として、最頻値が 1 日になった場合、2 日や 3 日に 1 回定期的にアクセスするような VM もシャットダウンされる。これは、3 つの方法で改善可能である。1 つ目は、指標を用意して、その指標に到達するまで最大アクセス間隔が大きい順にシャットダウンして指標に到達したらシャットダウンを終了することで改善可能である。2 つ目は、ユーザごとの VM で見える方法である。クラウド、分散システム研究室では、サーバに複数の VM を作成する人も居る。そのため、同じユーザの VM で最大アクセス間隔を比較して、値が大きい VM をシャットダウンすることで改善可能である。3 つ目は、個々の VM で見える方法である。個々の VM で過去からのアクセス頻度を見て、最大アクセス間隔の傾向からシャットダウンすることで改善可能である。

本稿では、過去 1 ヶ月のログしか見ることができていない。1 ヶ月の期間だと、アクセス間隔の傾向を取得するには短い。これは、半年の期間に設定することで改善可能である。半年にする理由としては、東京工科大学は前期、後期で学期が分かれています。クラウド・分散システム研究室も学期ごとに提出の期限が設けられているためである。

7. おわりに

研究室のサーバは研究室に所属する学生が創成課題や卒業課題で実験環境や実装環境として使用する。1 人が複数台の VM をたてるのがほとんどである。研究室でテストサーバとして使用されているサーバ内には放置されている VM がある。放置されている VM も電力を消費している。起動している VM が多いほど物理サーバの消費電力は増加する。課題は、基礎実験でしか使用されていない VM や提案が変わったため放置されている VM が電力を消費していることである。提案では、使用頻度の低い放置されている VM を判断するために VM ごとに最大アク

セス間隔を計算し、各 VM の最大アクセス間隔の最頻値を計算する。最頻値よりも最大アクセス間隔が大きい VM は放置 VM と判断し、シャットダウンすることで VM の消費電力を削減する。評価として、提案ソフトウェアを使用した際と使用していない際のサーバの消費電力を比較した。結果として、実験対象である jasumine サーバにたてられている 33 台の VM のうち 13 台の VM がシャットダウンされた。消費電力は 8.6 %削減された。

謝辞 アクセスログの提供や実験のご協力いただきました。東京工科大学大学院バイオ・情報メディア研究科コンピュータサイエンス専攻の大野有樹さん、東京工科大学コンピュータサイエンス学部先進情報専攻の井田尚樹さんに御礼申し上げます。

参考文献

- [1] Liu, W., Wei, K., Yan, X. and Qin, C.: Spatiotemporal Load Regulation Modeling for Internet Data Centers with Applications to Wind Power Fluctuation Suppression, *2023 5th Asia Energy and Electrical Engineering Symposium (AEEES)*, pp. 1157–1163 (online), DOI: 10.1109/AEEES56888.2023.10114214 (2023).
- [2] Chen, W., Liu, B., Paik, I., Li, Z. and Zheng, Z.: QoS-Aware Data Placement for MapReduce Applications in Geo-Distributed Data Centers, *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 68, No. 1, pp. 120–136 (online), DOI: 10.1109/TEM.2020.2971717 (2021).
- [3] Khalili, S., Mohsenian, G., Desu, A., Ghose, K. and Sammakia, B.: Airflow Management Using Active Air Dampers in Presence of a Dynamic Workload in Data Centers, *2019 35th Semiconductor Thermal Measurement, Modeling and Management Symposium (SEMI-THERM)*, pp. 101–110 (2019).
- [4] Hirose, K.: DC powered data center with 200 kW PV panels, *2018 International Power Electronics Conference (IPEC-Niigata 2018 -ECCE Asia)*, pp. 822–825 (online), DOI: 10.23919/IPEC.2018.8507890 (2018).
- [5] Rodríguez-Haro, F., Freitag, F., Navarro, L., Hernández-sánchez, E., Fariás-Mendoza, N., Guerrero-Ibáñez, J. A. and González-Potes, A.: A summary of virtualization techniques, *Process Technology*, Vol. 3, pp. 267–272 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2012.03.029> (2012). The 2012 Iberoamerican Conference on Electronics Engineering and Computer Science.
- [6] Buyya, R., Yeo, C. S., Venugopal, S., Broberg, J. and Brandic, I.: Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility, *Future Generation Computer Systems*, Vol. 25, No. 6, pp. 599–616 (online), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2008.12.001> (2009).
- [7] Kim, I., Kim, T. and Eom, Y. I.: NHVM: Design and Implementation of Linux Server Virtual Machine Using Hybrid Virtualization Technology, *2010 International Conference on Computational Science and Its Applications*, pp. 171–175 (online), DOI: 10.1109/ICCSA.2010.49 (2010).
- [8] Vinothina, V. V., Sridaran, R. and Ganapathi, P.: A survey on resource allocation strategies in cloud computing, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 3, No. 6 (2012).

- [9] Kumakura, K., Oguchi, M., Kamiyama, T. and Yamaguchi, S.: CPU Usage Trends in Android Applications, *2022 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, pp. 6730–6732 (online), DOI: 10.1109/Big-Data55660.2022.10020953 (2022).
- [10] Koomey, J. et al.: Growth in data center electricity use 2005 to 2010, *A report by Analytical Press, completed at the request of The New York Times*, Vol. 9, No. 2011, p. 161 (2011).
- [11] Guo, J., Li, Y., Liu, C., Zhao, Z. and Zhang, B.: Research on a Virtual Machine Mode Transfer Method Supporting Energy Consumption Optimization, *2022 24th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, pp. 77–80 (online), DOI: 10.23919/ICACT53585.2022.9728798 (2022).
- [12] Duolikun, D., Watanabe, R., Enokido, T. and Takizawa, M.: A Model for Energy-Aware Migration of Virtual Machines, *2016 19th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS)*, pp. 50–57 (online), DOI: 10.1109/NBiS.2016.86 (2016).
- [13] Thiam, C. and Thiam, F.: optimizing electrical energy consumption in cloud data center, *2019 Third International Conference on Intelligent Computing in Data Sciences (ICDS)*, pp. 1–5 (online), DOI: 10.1109/ICDS47004.2019.8942232 (2019).
- [14] Li, K.: Optimal Power and Performance Management for Heterogeneous and Arbitrary Cloud Servers, *IEEE Access*, Vol. 7, pp. 5071–5084 (online), DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2889220 (2019).