O-024

脱炭素向け再配置アプリケーション選定手法の提案

Proposal of methodology for selecting applications to be relocated for decarbonization

金子 聡†
Satoshi Kaneko

1. はじめに

AI 活用によるデジタル化の中枢を担うデータセンタ（DC）は様々な価値を生み出す代わりに大量の電力を消費し、CN2050 に向けた社会課題となっている。DC の脱炭素化に向け、IT 機器や冷却設備の効率化などの施策により消費電力の削減が継続的に進められている一方で、消費電力に、CO^2 を排出しない再生可能エネルギー（再エネ）を採用する動きが活発化している。再エネの導入方法について、昨今、先進的な企業は社会全体の再エネ利用率向上のために年間単位の再エネ利用率から、再エネの発電と消費を１時間単位で合致させる時間単位の再エネ利用率の向上に取り組み始めている [1]。

一方、DC は、一日を通じて大量の電力を必要とするため、不安定かつ地理的制約を有する再生可能エネルギーの効率的な利用が課題である。これに対して、互いに異なる場所に設けられた複数の DC の中から、再エネが豊富な地域及び時間帯に応じて、計算負荷（WL: Workload）を実行する DC を選択する技術が注目されている。このとき、実行中の WL を別の地域で実行させるためには、アプリケーションのダウンタイムやデータコピーに伴う電力消費といったオーバヘッドの削減が課題となっている。

そこで、本報では、WL の再配置の実現方式とその中で特に課題となる WL 再配置のオーバヘッドを最小化する移行 WL 選出手法を提案する。

1.1 脱炭素向けアプリケーション最適配置

まず本報で議論する脱炭素向けアプリケーション最適配置のユースケースについて示す。脱炭素向けのアプリケーション（アプリ）の最適配置制御は、一つ以上の WL から構成されるアプリの管理者が CO^2 排出量の少ない場所と時間でアプリを実行させる。CO^2 排出量は再エネの供給量によるため、天候や昼夜の変化に伴い変動する。このため、CO^2 排出量の少ない地域は状況に応じて変化する。よって、最初にアプリを配置した地域からアプリの実行場所を状況に応じて再配置することが、CO^2 排出量を削減する上で重要となる。このように、脱炭素向けのアプリ最適配置制御では、まずアプリを適切な場所に配置し、その後状況に応じてアプリを CO^2 排出量が少ない地域に再配置することを繰り返す。以下では、初期配置と再配置の具体的な手順をそれぞれ示す。

1.1.1 初期配置の手順

アプリケーションの配置方法として、コンテナアプリケーションの実行プラットフォームである Kubernetes[1]を利用した方式が提案されている [2]。アプリ実行の設定ファイルである Manifest に配置可能なサイト群の情報を記載し、その拠点内で、再エネが最も多い場所、つまり再エネ供給量と DC 内の電力需要の差がもっとも多い場所を配置先として特定しアプリケーションを実行する。

1.1.2 再配置の手順

本報では、前項で述べた初期配置の延長で再配置を行うことを想定し、その手順について述べる。

再配置の手順は、初期配置時にユーザが事前に定義した条件に従って、自動で再配置することとする。つまり、ユーザは再配置時に作業は不要である。なお前述の条件を更新した際にも再配置が発生するが本報では説明を割愛する。次節では本報で提案する再配置の実現方式について述べる。

1.2 再配置の実現方式

アプリの再配置の実現に向け、以下の３項目を決定する必要がある。以下では各項目の決定方式について述べる。

1. 再配置のタイミング
2. 再配置対象のアプリケーション
3. 再配置先のクラスタ

1.2.1 再配置のタイミング

アプリの再配置は、CO^2 排出量削減の観点で好適なアプリ実行場所が変更することに連動して行われることが望ましい。しかし、アプリの実行場所を変更する際、コンテナの停止やネットワークの切替などにより、サービスレベルの低下やアプリケーション/システムのダウンタイム、というリスクを引き起こす。これらのリスクはユーザおよびアプリのサービスレベル目標を満たせない可能性があるため、これらのユーザ影響を軽減するために、アプリ実行時にユーザに移行許容時間を入力させる方式を提案する。ユーザは、そのフィールドにリスクを受け入れることができる時間を設定することで、リスクの軽減が可能である。例えば、アプリケーションのメンテナンス時間を上記時間として設定するケースなどを想定する。

1.2.2 再配置対象のアプリケーションの決定

前節で述べたようにアプリの再配置はアプリへのリスクを伴う。このリスクは前述したサービスレベル低下、ダウンタイム発生に加え、アプリが利用するデータのコピーによる電力消費も CO^2 排出量削減の観点ではデメリットとなる。一方、再エネは、場所と時間により供給量が多い時間が異なるため、アプリを構成する WL がサイト間を何度も往復する可能性があり、移行による CO^2 排出量の削減とリスクの低減を両立することが困難である。

Agarwal らは、脱炭素向けアプリ再配置に関し、アプリを構成する仮想マシンの移行に伴うネットワーク負荷のオーバヘッドを削減する移行パタン決定手法を提案している [3]。しかし、前節で述べたリスク、デメリットについては

[1] Kubernetes は The Linux Foundation の登録商標である。

Copyright © 2023 by
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan All rights reserved.

論じていない。そこで本報では、サービスレベル低下、ダウンタイム発生、データコピーによる電力消費、というオーバヘッドを最小化する再配置対象 WL の選出手法を提案する。手法の詳細については次章で述べる。

1.2.3 再配置先のクラスタの決定

脱炭素向けアプリの再配置では、サイト間の電力需要調整量に基づいて各サイトの再配置対象のコンテナを決定する。つまり CO^2 排出量が多いサイトから少ないサイトへ再配置を行うことで電力の融通を行う。このサイトの組合せは 1.1.1 で述べたサイト群情報によって決まる。このサイトの中でもっとも CO^2 排出量が少ないサイトへ移行すれば良い。複数のサイトが移行先候補になりうる場合、移行先の決定は複雑になるが、本報での議論は割愛する。

2. オーバヘッドを最小化する移行 WL 選出手法

1.2.3 で述べた通り、サイト間毎の電力需要調整量を推定し、当該電力量に相当する WL を、WL とデータの情報を用い、移行オーバヘッドであるアプリダウンタイム、データコピーによる消費電力を最小化するように選出する方針とする。図 1 に WL 選出のフローチャートを示す。

処理開始のタイミングは 1.2.1 で述べた通りである。WL 選出処理は処理を開始するとまず、再エネの供給予測情報と電力需要予測情報を取得する。続いて、取得した再エネの供給予測情報と電力需要予測情報と配置可能サイト群の情報をもとに、時間帯ごとのサイト間の電力需要の調整量を計算する。この計算をサイトの組み合わせごとに繰り返す。この調整量を満たす分だけ、再エネが不足するサイトから WL を選出する。

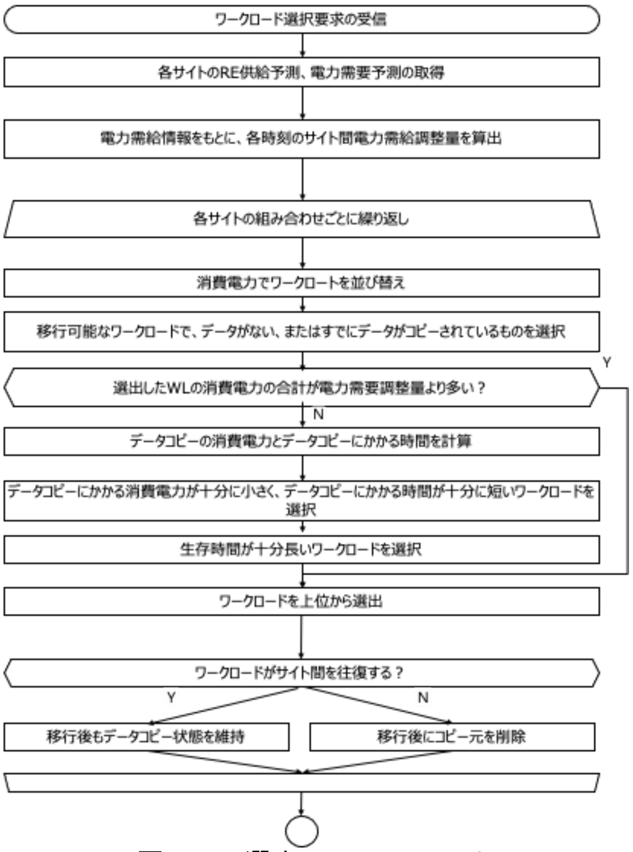

図 1 WL 選出フローチャート

次に、再エネ不足サイト内の WL を消費電力量でソートする。これにより、移行 WL 数を削減する。

次に、移行可能かつデータを持っていない、或いはデータが対象のコピー先のサイトへ既にコピー済みである WL を選出する。これにより、データコピーのオーバヘッドを削減する。

ここまで選出された WL の消費電力の合計が必要な調整量を満たす場合は、必要な調整力を満たす分の WL を前述の通りソートした順に選出する（つまり消費電力が大きい WL から順に選出する）。必要な調整量を満たさない場合は、データを有する WL について、データが少ないものを優先的に選出する。データのサイズで閾値を設定して、その閾値によりフィルターしても良い。

つづいて、WL の実行時間により WL をフィルタリングする。WL が移行後にすぐ終了する場合移行元の再エネ不足には寄与するが、移行先の電力負荷増加（余剰再エネの活用）への効果がなくなってしまう。また、移行しても WL がすぐ終了すれば移行自体が無駄になる。これを避けるために WL の実行時間が 24 時間以上等の定義により移行対象として選出する。

最後に、対象の WL が移行後に元のサイトに戻る可能性を判定する。判定方法は、任意の将来時刻についてサイト間の調整量の計算を行い対象のサイトの組み合わせで現在とは逆の向きに WL を移行するか否かを判定することで確認する。例えば、1 時間後に 100kw をサイト 01 からサイト 02 に移行 (移行 1) し、さらに、10 時間後に 500kw をサイト 02 からサイト 01 に移行 (移行 2) することが予想される場合は、もし、移行 1 で移行した WL が 10 時間後も生存していた場合、その WL が移行 2 でサイト 01 に戻ってくると考えることができる。この WL の往復が予想された場合は、データコピー後に移行元のサイトのボリュームを削除せずに保持し続ける。これにより、WL が元のサイトに戻ってくる際のデータコピーにかかる消費電力と時間を不要化できる。なおそれ以外の場合は移行元の WL は削除されたままのため、データコピー後に移行元のデータを削除する。

3. おわりに

本研究では，脱炭素向け WL 再配置の実現方式とその中で特に課題となる WL 再配置のオーバヘッドを最小化する移行 WL 選出手法を提案した。提案手法は、サービスレベルへの影響を最小化すべく WL 移行する期間を指定させる。また、再エネの供給予測情報と電力需要予測情報をもとに CO^2 排出量が多いサイトから少ないサイトへ再配置を行う。さらに、移行のオーバヘッドであるアプリダウンタイム、データコピーによる消費電力を最小化するように、WL の消費電力とデータの状態に基づいて移行 WL を選出する。

今後は実際のデータセンタの WL のデータを用いて方式の評価を行う。

参考文献

[1] Google, "Operating on 24/7 Carbon-Free Energy by 2030,," [Online]. Available: https://sustainability.google/progress/energy/. [Accessed 6 6 2023].

[2] 金子 聡, 岡村 拓 , Chaudhari J. Pritam, “データセンタのユーザ部門向け脱炭素化支援サービスの提案,” FIT2022, 2022.

[3] A. Agarwal, J. Sun, S. A. Noghabi, S. Iyengar, A. Badam, R. Chandra, S. Seshan and . S. Kalyanaraman, "Redesigning Data Centers for Renewable Energy," in *HotNets '21*, 2021

Copyright © 2023 by
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan All rights reserved.