

ゲーム論的アプローチによる仮想計算機への動的な物理コアの効率的割当の手法

荒拓馬, 長谷部浩二, 加藤和彦

筑波大学情報学群情報科学類

1 研究の背景と目的

近年、データの一元管理や管理コストの削減の目的から、クラウドコンピューティングが広く普及している。このようなクラウドを支える技術として、単一の物理サーバを複数の仮想計算機に分割し、それぞれにアプリケーションを動作させるサーバの仮想化がある。これにより、稼働する物理サーバを減らすことで消費電力などのコストを削減することが可能となる。

こうした仮想化による大規模なシステムでは、サーバにかかる負荷などは時間帯によって変化するため、仮想サーバに割り当てられている CPU やメモリなどの計算資源に過不足が生じていることがある。そこで、各仮想計算機に対してサーバにかかる負荷や優先度に応じて計算資源の割り当てを動的に行い、各仮想計算機に対して計算資源を過不足なく割り当てる手法が提案されている。しかしながら、過去に提案されている手法は、計算資源を集中管理によって割り当てるため、大規模な環境を想定した場合、動的な計算資源の割り当ては困難である。

そこで本研究では、大規模な環境にも対応しうる動的な資源配分の手法を提案する。特にここでは、仮想計算機への物理コアの割り当てを対象とする。この提案手法は、ゲーム理論の考え方をもとに、特に労働市場において使用者と労働者とが、自らの利得を最大化するよう行動する原理に基づいたものとなっている。すなわち、物理コアを労働者と見なし、クラウド上のサーバで提供される各々のインターネットサービスを、労働者を雇用する使用者と見なす。そこで各使用者は、自律的に労働力を確保するために、自らの予算の範囲で労働力に対して支払う給料を設定する。同様に、労働者も自律的に自らの労働力の範囲で、貰える給料が最大となるように使用者に応募する。このとき労働力に対しての価格が均衡となり、使用者はその均衡価格によって、労働力を確保することが可能となる。つまり、サービスはアクセス数やサービス提供のための計算の負荷などから物理コアを確保するための給料を設定し、物理コアは自分のキャパシティの範囲で、給料が一番高く獲得できるサービスに応募する。サービスは、確保した物理コアの量に応じて給料を再設定する。これを繰り返したとき、全サービスの給料が均衡価格となり、その価格で確保した物理コアを、サービスを提供する仮想計算機に割り当てることでサービスの負荷や優先度に応じた量の物理コアが割り当てられる。

本研究では、ゲーム論的な考え方をもとに、自律制御によって仮想計算機に物理コアを割り当てるため、大規模な環境においても資源管理を実現することが可能であり、また計算機の追加や削除、あるいはサービスの追加や削除にも柔軟に対応する高いスケーラビリティを有する。

2 関連研究

近年、動的な資源配分を自律的に行うための様々な手

法が提案されている特にゲーム理論を基にした研究として、以下のものが挙げられる。Van らは、クラウド基盤上で各サービスに仮想計算機を割り当てる手法 [1] を提案している。この研究では、各サービスにリクエストに対する応答時間といったサービスの品質を評価する関数を設定し、その各サービスの関数の値の総和から成る全体の関数を最大化することで適切な資源の割り当てを行う。この手法は、各サービスに自律的に計算資源を割り当てる点では本研究と類似する。しかし、この手法は本研究と異なり、各サービスの持つ関数を管理する計算機が必要であり、規模が大きくなると、管理する計算機がボトルネックとなる場合がある。

また、Wei らが提案するスケジューリングに注目した手法 [2] がある。サービス提供におけるタスクに関して、処理時間が最小となる計算機を繰り返し選択することでどのタスクも現在選択している計算機を変えない方が処理時間を小さくできる状態となり、各タスクに適切な計算機の割り当てを行う。

この他にも、Teng らが提案するオークション理論に基づいた手法 [3] がある。この手法では、クライアントが計算資源を財としたオークションを繰り返し、その結果よりクライアントは、計算資源の入札額を変化させる。しばらく時間が経つと、その入札額が全クライアント間で等しくなり、各クライアントに公正な値段での計算資源を提供できる。

3 提案するアルゴリズム

3.1 基本的なアイデア

対象とするシステムを図 1 に示す。対象とするシステムでは複数の仮想計算機からサービスが構成されており、仮想マシンモニタ (Virtual Machine Monitor または VMM) を用いて、各仮想計算機へ物理コアを割り当てる。提案する手法では、アクセスの数や管理者から見たサービスの重要度に応じて動的に仮想計算機への物理コアの割り当てを行い、ピーク時には多くのコアをそのサービスに割り当て、安定したサービスを提供する。

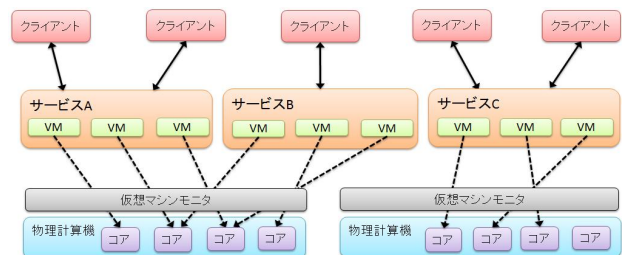


図 1 システムの構成

特にここでは、クラウド基盤で複数のサービス提供サーバが稼働していることを想定する。また、これらのサービスは時間に応じてアクセス数やサービス提供のための計算の負荷が時々刻々と変化する。一方、計算資源と

して CPU の物理コアを想定し、これらがサービスの重要度や想定されるアクセス数に応じて配分される。このような環境において重要なことは、動的に限られたシステム内の物理コアを、優先度や負荷に応じて割り当てることである。

提案するアルゴリズムでは、各サービスに予算という概念を導入する。サービスは、重要度や負荷に応じて予算を設定し、その予算と必要な物理コアの量から物理コアに支払う給料を提示する。また、物理コアは自分のキャパシティの範囲で給料を最大にするようにサービスに応募をする。

3.2 リソース配分のプロトコル

以下で提案するアルゴリズムについて説明する。提案するアルゴリズムでは、サービスはある時間ごとに物理コアの割り当てを行い、次に要求する物理コアの量と物理コアを確保するための予算を設定する。このとき、各サービスは現在確保している物理コアに給料を支払えない場合、その物理コアを解放する。

予算を設定したサービスは、次の手順に従い物理コアを確保する。

1. 各サービスから全コアに計算資源に対して支払う給料の情報を送る。
2. 各サービスは応募されてきた中から、自分が確保すべき分の物理コアを採用する。
3. サービスは要求する分の物理コアを確保できないならば、現在確保できている物理コアの量に応じて確保すべき物理コアの量を減らし、計算資源に対して支払う給料を上げて、1に戻る。
確保できたならば、確保すべき物理コアの量を減らした量に応じて、増やし、計算資源に対して支払う給料を下げて、1に戻る。

一方、物理コアは自分のキャパシティの範囲で、得られる給料（すなわち利得）が最大になるようにサービスに応募し、採用された場合は計算資源を提供する。

また、物理コアの入れ替えを頻繁に起こさないためにペナルティを設け、現在確保している給料の定数倍以上の給料を獲得できる場合に、現在割り当てられているサービスを抜けて、別のサービスの応募を行う。

4 シミュレーションによる評価

想定する環境及び前節で説明したアルゴリズムを用いたシミュレーションにより評価を行った。評価は、各サービスに対し時間によって必要な物理コア数が変化することで適切な割り当てが行われるかを確認した。シミュレーションで用いたパラメータを表 1 に示す。

表 1 想定環境

物理コア数	100
サービス数	48
ペナルティ	1.15
コアの動作できる確率	50%
サービスの動作できる確率	50%

各サービスはグループ 1、グループ 2、グループ 3 のいずれかに属するものとし、それぞれのグループのピーク時を 24:00、16:00、8:00 に迎えるとし、またピーク時とオフピーク時との差を 2 倍とした。

本シミュレーションでは、まず物理コアが応募するサービスを選択し、次にサービスが、応募された中から確

保する物理コアを選択する。その後サービスは、確保している物理コアの量に応じて新しい給料の値を設定する。この一連の手続きを 1 ラウンドとし、1440 ラウンドの経過を観察した。1 ラウンドは現実の 1 分を想定しており、即ち 24 時間の動作を想定している。各サービスは、60 分ごとに物理コアの割り当てを行い、新しい予算と確保すべき物理コアの量を設定する。また、本シミュレーションでは非同期システムを想定しており、各コアと各サービスは、ラウンドごとに 2 回に 1 回の割合でプロトコルに参加するかしないかを決める。各サービスが、確保した物理コアの量を図 2 に示す。

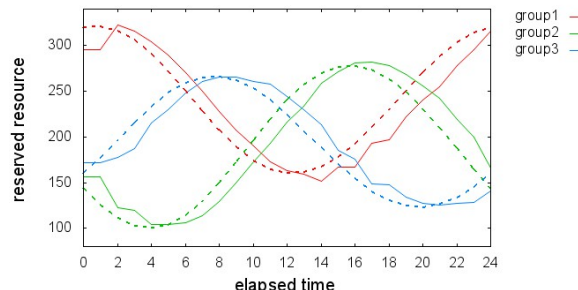


図 2 負荷の変動に対する物理コアの割り当て量

このグラフでは、横軸を経過時間とし、縦軸を各グループに属するサービスに対して割り当てられた物理コアの平均値としている。また、各破線はグループの予算の比によって求まる理想的な物理コアの割り当て量である。

シミュレーションでは、各グループに割り当てられた物理コアの量と理想的な物理コアの量との誤差を最大 25%、平均 8%以内に抑えられており、サービスに対する負荷の変動に対応した物理コアの割り当てがされていることが観察された。

5 結論と今後の課題

本研究ではゲーム理論の考え方をもとに、自律的制御による動的な物理コアの割り当ての手法を提案した。提案したアルゴリズムにおいて各サービスは、自律的に自らの予算および確保すべき物理コアの量から計算資源に支払う給料を設定し、その値を変化させることで必要な量の物理コアを確保する。一方、物理コアは自分のキャパシティの範囲で得られる給料を最大にするようなサービスに応募し、計算資源を提供することで高いスケラビリティを有した動的な物理コアの割り当てを実現した。

また本研究ではシミュレーションを行い、各サービスに対する負荷が変動する環境において、負荷の変動に応じて動的に物理コアを各サービスに割り当てることを確認した。

提案手法では、一つのサービスに対し異なる物理計算機のコアを割り当てられているので、今後は同一の物理計算機のコアを割り当てることを考えている。

参考文献

[1] H. N. Van and F. D. Tran. Autonomic virtual resource management for service hosting platforms. Proceedings of the ICSE Workshop on Software Engineering Challenges of Cloud Computing, pp.1-8, 2009.

[2] G. Wei, V. Athanasios, Y. Zheng and N. Xiong. A game-theoretic method of fair resource allocation for cloud computing services. The Journal of Supercomputing, Vol. 54, pp. 252-269, 2010.

[3] F. Teng and F. Magoules. Resource Pricing and Equilibrium Allocation Policy in Cloud Computing. IEEE International Conference on Computer and Information Technology, pp.195-202, 2010.