

氏 名	ジクマノフスキー アンドリー
博士の専攻分野の名称	博士（学術）
学位記号番号	博理工甲第994号
学位授与年月日	平成27年9月18日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Distributed Cloud Bursting Architecture Based on Peer-to-Peer Overlay for Service Provisioning (サービスプロビジョニングのためのP2Pオーバーレイに基づく分散クラウドバースティングアーキテクチャ)
論文審査委員	委員長 教授 吉田 紀彦 委員 教授 程 京徳 委員 准教授 後藤 祐一 委員 准教授 吉浦 紀晃 委員 教授 小柴 健史

## 論文の内容の要旨

Cloud computing is a technology that has gained extremely wide use in last several years. Initially embraced by major IT companies such as Amazon, Apple, Microsoft, Oracle and Google, which established themselves as top players in the cloud services market, it has become common for most companies to move their infrastructure to the cloud, both public and private. If properly applied, cloud computing not only can help lower IT costs for the enterprise, but also introduces many other benefits, such as effective management of peak-load scenarios by scaling the number of instances according to the real (or predicted) demand, dealing with natural disasters and system outages by seamlessly migrating to other available cloud resources, or serving as a inexpensive platform for the startups with innovative ideas for new services.

One of the concerns for the cloud-based solutions is the fact that the components responsible for service discovery, monitoring and load-balancing still employ centralized approaches. The presence of central authority entities like service brokers is often inappropriate, since such solutions lack satisfactory scalability, present a single point of failure and lead to performance bottlenecks and network congestion. On the other hand, considering distributed nature of cloud-based architecture, it is reasonable to use distributed approach to cloud service management and discovery as well, which in turn leads to the idea of using inherently decentralized, fault tolerant and scalable peer-to-peer paradigm.

One of ideas that can alleviate already existing and potential problems of centralized cloud is hybrid cloud architecture that consists in combining both public and private clouds to get more scalable and robust cloud solution. In this thesis, we present an approach to building a hybrid cloud system by employing cloud bursting architecture --- an approach that lies in using external cloud resources when local ones are insufficient. One of major use cases for cloud bursting is managing highly skewed request distribution for deployed services, mostly characterized by peaks in load which are sudden and unpredictable, planned but not long, and often exhibit seasonal behavior.

Our cloud bursting architecture is based on the peer-to-peer infrastructure for managing services, which is also an

original idea presented in this thesis. This infrastructure is specifically designed to be an effective and scalable solution for storing, sharing and discovering services and unlike most other peer-to-peer based approaches it allows flexible search queries since all of them are executed against internal database present at each overlay node. We also present several optimizations for peer-to-peer overlay which are necessary for utilizing it in the cloud environment. Evaluation of the peer-to-peer overlay is done by performing a set of experiments on a simulator that show it can be a viable solution to use in cloud setting and specifically in hybrid cloud. We also present some considerations about further cloud architecture evaluation and analysis.

Proposed approach is designed to address various issues of interconnecting several clouds, problems of resource provisioning, service deployment and provisioning in the hybrid cloud. Scalability of the approach is attained due to flexibility of service discovery mechanism, decentralized architecture and modular approach, which allows to leverage existing components. We argue that our approach present viable solution for managing abrupt peaks in the load and keeping service provider's QoS and SLA requirements on the desired level.

## 論文の審査結果の要旨

計算能力やストレージ、プラットフォーム、アプリケーションなどを複数サーバからなるネットワークで、しかも物理的なサーバ配置やネットワーク構成を意識させない仮想化した形で提供するのが、「クラウド」と呼ばれるシステムである。上記の計算能力やストレージ、プラットフォーム、アプリケーションなどは「サービス」として抽象化され、インターネット上で提供される。このようなクラウドは今やインターネット・サービスのインフラストラクチャとなっており、しかも世界規模のクラウド（パブリック・クラウド）から一組織内のクラウド（プライベート・クラウド）まで、様々な規模、様々な形態で展開されるようになってきている。

クラウドの物理的な構成を静的・固定的なサーバ・ネットワークとするのでは、時々刻々と変化する負荷状況に十分に対応できず、予想最大負荷を越えた場合には破綻し、逆に低負荷時には無駄が生じる。特にフラッシュ・クラウドと呼ばれる急激な変動も含め、負荷状況に応じてクラウドの能力を動的に拡大・縮小する技術の確立は、重要な課題となっている。例えば Amazon など単一プロバイダによる世界規模クラウドでは、これは「クラウドバースティング」として、すでに運用されている。しかし、プライベートクラウドでは、物理的な資源に限界があるため、新たな対応策が必要となる。

本学位論文は、特にプライベートクラウドに焦点をあて、クラウドバースティングの実現について論じたものである。アイデアの基本は、負荷に応じて他のパブリック・クラウドを動員し、複数クラウドを連携させたマルチクラウドとして運用するところにある。しかし、その具体的な実現においては、動的に変化するマルチクラウドにおけるサービスの共有、発見、予測（プロビジョニング）が課題となる。そこで、まずそれらについて解決策を考案し、その上で、分散クラウドバースティングのシステム構成方式を論じた。論文の構成は以下の通りである。

第1章では、クラウド技術の現状および課題を概観し、その中で本研究の位置づけと目的をまとめた。

第2章では、本研究が前提としているインタークラウド、そしてクラウドバースティングについて、概要や研究動向などをまとめた。インタークラウドは複数のクラウドを連携させる技術であり、その連携方式によってクラウド・フェデレーションとマルチクラウドに分けられることを述べた。ついで、個別のクラウドを固定的に運用する現状の方式は、特にフラッシュ・クラウドと呼ばれる負荷が急激に変動する状況に対応できないこと、さらに、この問題は特にプライベート・クラウドにおいて深刻となることを示した。そして、負荷変動に対応するにはクラウドバースティングと呼ばれる技術が必要となり、本研究では、負荷変動に応じてハイブリッドな（異種混成の）マルチクラウドを動的に構成することでクラウドバースティングの実現を目指すことを述べた。

第3章では、上記のような動的な複数クラウドの環境において、最も重要な課題の一つとなるサービス共有および発見について、ピアツーピア技術に基づく新たな方式を提案した。クラウド内で共有される各種サービスは、実際にはそれぞれバーチャルマシンで実行されており、そのバーチャルマシンを必要に応じて特定する処理がサービス発見である。動的複数クラウドにおけるサービス共有、発見は、現状の固定的な単一クラウドで採用されているディレクトリ・サーバ方式では対応が難しく、本研究ではピアツーピアの応用に着目した。しかし、従来のピアツーピアがコンテンツを扱うのに対して、ここではサービス（バーチャルマシン）を扱うので、ライフサイクルや条件検索などを考慮する必要がある。新たなピアツーピアが必要となることをまず示した。そして、Liらによる木構造の分散データベースをピアツーピアに持ち込むことで、この課題を解決する方式を考案して構築した。

第4章では、このピアツーピア方式をクラウドに写像し、サービス共有および発見からさらに進めて、サービス予測（プロビジョニング）に展開する方式を提案した。プロビジョニングとは動的負荷分散に向けての重要な基盤であり、過去の履歴などに基づいて近い将来を予測し、クラウド内の計算資源をできるだけ適切に配置しておく技術である。そして、大きくバーチャルマシン・プロビジョニング、リソース・プロビジョニング、サービス・プロビジョニングがある。そこで、負荷変動に応じてサービスの複製（バーチャルマシンの複製）を構成し、それらを Gao らの負荷分散行列によって配分する方式を構築した。そして、以上の有効性をシミュレーション実験で示した。

第5章では、以上の各方式を統合化してクラウドバースティングを実現する構成方式について論じた。特に、複数サービスから成るタスクの処理におけるスケジューリングならびにワークフローの扱い、複数サービス間の競合解消の扱い、クラウドバースティングの実現に必要なクラウド資源プールの扱いについて検討・考察して、それぞれ解決策を提案した。そして、システム全体のコンポーネント構成をまとめた。

第6章では、本研究から得られた成果と知見をまとめ、残された研究課題を示した。

本論文は、今やインターネット・サービスのインフラストラクチャとなっているクラウドについて、将来の技術動向を見すえた上で、重要な問題の解決と可用性の向上に大きく寄与貢献するものである。なお、その主要内容は、すでに幾つかの学術論文誌や全文査読の国際会議論文集において公表されている。以上より、本論文を博士（学術）の学位に相応しいものと認め、合格と判定した。