

氏 名 藤原 一毅

学位（専攻分野） 博士（情報学）

学位記番号 総研大甲第 1513 号

学位授与の日付 平成 24 年 3 月 23 日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 Study on Combinatorial Auction Mechanism for
Resource Allocation in Cloud Computing Environment

論文審査委員 主 査 教授 合田 憲人
教授 漆谷 重雄
客員教授 三浦 謙一
准教授 鯉渕 道紘
准教授 小野 功 東京工業大学

This thesis proposes a combinatorial auction-based marketplace mechanism for cloud computing services, which allows users to reserve arbitrary combination of services at requested timeslots, prices and quality of service. The proposed mechanism helps enterprise users build workflow applications in a cloud computing environment, specifically on the platform-as-a-service, where the users need to compose multiple types of services at different timeslots.

The proposed marketplace mechanism consists of a forward market for an advance reservation and a spot market for immediate allocation of services. Each market employs mixed integer programming to enforce a Pareto optimum allocation with maximized social economic welfare, as well as double-sided auction design to encourage both users and providers to compete for buying and selling the services.

A marketplace simulator, named W-Mart, is specially developed for this thesis. It implements the proposed mechanism on Java platform being powered by the state-of-the-art MIP solver CPLEX. W-Mart is designed after the multi-agent virtual market system U-Mart, and is also capable to deal with human agents and machine agents at the same time.

Three experiments are carried out by means of multi-agent simulations. First, the accuracy of the combinatorial allocation scheme is validated. The result demonstrates that it works properly. Second, the overhead of the proposed market mechanism including MIP solver is assessed. The result shows that the overhead is acceptable to deal with an expected number of participants within the proposed trading schedule. Third, the performances of four types of market mechanisms are extensively evaluated. The results clarify that (1) the proposed forward/combinatorial mechanism outperforms other non-combinatorial and/or non-reservation (spot) mechanisms in both user-centric rationality and global efficiency, (2) running both a forward market and a spot market improves resource utilization without disturbing advance reservations, and (3) the users' preference between the forward market and the spot market affects the performance of whole marketplace significantly in tight demand/supply conditions.

本学位論文は、「Study on Combinatorial Auction Mechanism for Resource Allocation in Cloud Computing Environment」と題し、英文7章から構成されている。

第1章「Introduction」では、本研究の背景と目的を述べている。クラウドコンピューティングの普及に伴い、複数のクラウドサービス提供者が提供する異なる資源（またはサービス）を組み合わせて利用する方式が注目されている。しかし、この方式では、サービス提供者と利用者間の資源割り当て問題が複雑化し、資源を有効に利用することが難しいという問題が指摘されている。本章では、この問題を解決するために、市場原理に基づくサービス割り当てを行うクラウドサービス取引所モデルを提案および評価することが本論文の目的であると述べている。

第2章「Background and Related Work」ではまず、本研究の前提知識として、市場メカニズムおよびオークション理論について概観している。次に本章では、関連研究として、市場メカニズムを用いて分散計算システム上の資源割り当て問題を解決する既存研究について述べるとともに、電力取引や株式取引といった実社会における市場メカニズムの利用例について紹介している。また本章のまとめでは、本研究の目的、即ち複数のクラウドサービスを組み合わせて割り当てる問題は既存研究では解決されていないことを指摘している。

第3章「Cloud Computing Model」では、本研究が対象とする資源割り当て問題を定義するとともに、本研究が対象とする資源割り当て問題では、(1)複数サービスが組み合わせ可能であること、(2)サービスの事前予約および即時利用が可能であること、(3)提供者と利用者の両側競争が可能であること、(4)経済的な効率性が保たれること、という4つの要件が満たされる必要があると述べている。

第4章「Market Mechanism」では、本論文が提案するクラウドサービス取引所モデルについて述べている。本章では、まず提案モデルの登場人物であるクラウドサービス提供者、利用者、取引所を定義し、市場原理を用いてこれら登場人物間の資源割り当てを決定するモデルを提案している。提案モデルでは、資源割り当て問題を混合整数計画問題として定式化して資源割り当てを決定するとともに、資源の取引価格を K-Pricing アルゴリズムを用いて決定している。次に本章では、提案モデル上での資源割り当てアルゴリズムを提案している。提案アルゴリズムでは、複数の異なる資源の組み合わせ注文が可能であり、かつ資源の先物取引と現物取引を並行して実行することが可能である。

第5章「Simulator」では、提案モデルの評価を行うために開発したシミュレーションソフトウェアについて述べている。本ソフトウェアでは、提案モデルによる資源割り当てをマルチエージェントシミュレーションにより評価することができる。また、本ソフトウェアを構成するエージェントおよび取引所の実装、また取引所とエージェント間の通信プロトコルについて解説されている。

第6章「Experimental Study」では、提案モデルの性能評価結果について述べている。本性能評価ではまず、提案モデルの妥当性とスケーラビリティに関する評価を行っている。この結果、一般に整数計画問題は計算量が大きいが、提案モデルでは実用的な時間内で資源割り当て問題の解を求められることが確認されている。次に、提案する資源割り当てア

ルゴリズムと既存手法の性能比較が行われ、資源の組み合わせ注文の有効性、および先物取引と現物取引が共存可能なことが確認され、提案手法の優位性が示されている。

第7章「Conclusions and Outlook」では、本研究を総括し、得られた成果および今後の課題について述べている。

本研究の成果は、学術雑誌論文1件、フルペーパー査読付国際会議論文1件他として発表され、研究内容が国内外で認められている。

以上を要するに本論文は、クラウドサービス提供者と利用者間の資源割り当て問題を解決するためのクラウドサービス取引モデルを提案するとともに、本提案モデルをシミュレーションソフトウェアとして実装し、性能評価によりその有効性を示したものである。本論文の成果は、既存研究では解決できなかったクラウド上の資源割り当て問題を解決するものであり、学術上貢献が大きい。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認められる。