

氏名(本籍)	たか はし さと し 高橋里司(岩手県)		
学位の種類	博 士 (工 学)		
学位記番号	博 甲 第 6432 号		
学位授与年月日	平成 25 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	A Study of Algorithm Designs and Effective Implementations for Making Auction Systems (オークションシステム実現のためのアルゴリズム設計及び効率的運用に関する研究)		
主査	筑波大学教授	工学博士	山本芳嗣
副査	筑波大学准教授	博士(理学)	繁野麻衣子
副査	筑波大学准教授	Ph.D. in Economics	渡邊直樹
副査	筑波大学教授	博士(理学)	繆 瑩
副査	筑波大学教授	工学博士	吉瀬章子
副査	筑波大学准教授	博士(学術)	八森正泰
副査	産業技術総合研究所研究員	博士(理学)	竹房あつ子

論文の内容の要旨

オークションシステムの設計とその効率的運用を目指して、本論文は、単一財複数ユニットのオークションにおける落札者とその支払い価格決定問題に対するアルゴリズムの提案、そのアルゴリズムに対する被験者実験の報告、仮想計算機再配置アルゴリズムの提案とその実装から構成されている。

数多のオークションメカニズムの中で、Vickrey 他が提案した VCG メカニズムは理論上望ましい性質を持つが、単一財複数ユニットの場合にこのメカニズムを実装するには、以下の割当問題

$$\text{maximize } \sum_{i \in N} v_i(x_i) \text{ s.t. } \sum_{i \in N} x_i \leq M, 0 \leq x_i \leq D_i \text{ (for } i \in N)$$

を複数の入札者集合 N に対して解かなければならない。ここで、 v_i は入札者 i の評価関数、 D_i はその獲得上限である。評価関数 v_i を区分的線形関数に限ってもこの問題は解くのが困難であることが知られている。論文の第 2 章で既存研究の紹介を行った後、第 3 章では、この問題に対する 2 近似線形時間アルゴリズム LKBA (Linear Knapsack Based Algorithm) を構築して、2006 年に Zhou が設定した未解決問題に肯定的に答えている。なお、ここに言う線形とは、入札者の評価関数の区分点の総数の線形関数の意味である。また貪欲アルゴリズムを基礎にした GBA (Greedy Based Algorithm) も提案し、それが 2 近似アルゴリズムであることを示し、その計算複雑度を評価し、さらに、Kothari のアルゴリズムに修正を加えた完全多項式時間近似スキームも構築している。この章の最後に、以上のアルゴリズムの性能を比較するため、問題の多くのインスタンスを生成し、計算時間と最適値の両者を用いて比較を行い、LKBA と GBA の計算時間は動的計画法を元にした厳密解法の凡そ 1000 分の 1 であること、得られた解の近似精度は目的関数値で測って最適解の 75% 程度であることを報告している。完全多項式時間近似スキームについては近似精度要求の上昇に伴っ

て計算時間が増加する様子が報告されている。

前章で提案したアルゴリズムの実場面での問題点を洗い出すため、第4章では被験者実験によって、厳密解法によって VCG メカニズムを厳密に適用した場合と GBA を用いた場合を比較している。つまり、落札者とその支払い価格を決定するのに利用するアルゴリズムを被験者に伝えた上で実験を行い、アルゴリズムによって被験者の行動に差異があるかどうかを統計的に検証している。その結果、GBA は厳密解法よりも財の効率的配分という面では劣るものの、売り手の収入を大きく損なうことはない結論づけている。

第5章では電力消費量を抑えるための物理計算機への仮想計算機再配置問題を

$$\text{minimize } \sum_{i \in P} \left(\text{cost}_i \left(\sum_{k \in V} \text{vc}_k x_{ik} \right) + \text{base}_i y_i \right)$$

なる目的関数を持つ整数計画問題に定式化している。ここで、 P は物理計算機の集合、 V は仮想計算機の集合、 base_i と cost_i は物理計算機 i の特性から決まる定数とコスト関数であり、 x_{ik} 、 y_i が決定変数である。この問題に含まれる bin-packing 問題は困難な問題として知られており、従来の解法はその多くが発見的解法であった。この章では、「再配置は1度に1つ」との仮定を置いた場合、この問題が付加的な制約の付いた最大重みマッチング問題 (U-matching problem) に帰着されることを示し、この事実に基づいた解法 MBA (Matching Based Algorithm) と貪欲アルゴリズム (Greedy Algorithm) を提案している。コスト関数の計算を単位時間とした場合、MBA は問題を $O(|P|^3 + |V||P|)$ 時間で解くことを示し、この問題が多項式時間アルゴリズムの存在するクラスに属することを示している。さらに筑波大学のスーパーコンピュータ T2K のトレースデータを用いてこれらのアルゴリズムについて、消費電力削減効果、計算時間、システムの性能劣化の程度を比較し、MBA は実用に耐えるアルゴリズムであると結論づけている。

審査の結果の要旨

インターネットの普及に伴ってネットオークションへの出品数、入札者数ともに飛躍的に増大している今日、この論文で取り上げられた課題とその方法論は時機を得たものと言える。アルゴリズム LKBA と GBA の計算実験の結果の分析では近似最適値の精度だけに注目しており、支払い価格 $p_i(m)$ の近似精度を見えない点が唯一気になる点である。論文全体を通して、アルゴリズムの提案とその計算複雑度の理論的解析、実験による性能評価を全てきちんと行っている上、人間が介在する実際の応用場面を想定して被験者実験を行うなど、学位論文としては十分な内容から成っている。

平成 25 年 2 月 7 日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士 (工学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。