

Locally Envy Free 均衡に基づくキーワードオークションの安定性に関する考察

山本 拓也†

伊藤 孝行‡

†名古屋工業大学工学部情報工学科 ‡名古屋工業大学大学院産業戦略工学専攻

1 はじめに

インターネットオークションは、低コストで大規模なオークションを行うことが可能であり、電子商取引の重要な一分野である。また、人工知能の技術の有望な適用領域として、多数の研究が行われている [1]。

インターネットオークションでは様々な財の取引が行われており、近年、キーワードオークションと呼ばれるオークションが注目されている。キーワードオークションは、Yahoo!, Google, MSN などの検索エンジンで使われる検索連動型広告で使われるオークションである。検索連動型広告とはキーワードを検索した場合、検索結果のページの周囲に表示される、キーワードに関連した広告である。キーワードオークションでは、広告主はキーワードに対して、自分の広告が 1 クリックされた時に支払ってよいと考える価値に基づく入札を申告する。基本的なメカニズムでは、入札額の高い順に掲載順位が決定され、支払額は、Generalized Second Price Auction(GSP) と呼ばれるオークション方式に基づいて決定されている。

既存のキーワードオークションでは、広告主が合理的な戦略を取ることで、Locally Envy Free(LEF) 均衡と呼ばれる均衡に収束することが証明されている [2]。しかし、現実の市場における広告主の入札行動は、理論のみでは予測できない。また、どのオークションメカニズムがより高いパフォーマンスを持っているかどうかにも不確かな状況である。そこで本論文では、GFP(Generalized First Price Auction), GSP, VCG(Vickrey-Clarke-Groves), および LEF-GSP の 4 つのキーワードオークションメカニズムを対象に、マルチエージェントシミュレーションを行うことで、どのオークションメカニズムが実際の市場において高い安定性と収益性を持つかを考察する。

本論文では、まず、2 章でオークションの背景となる知識について説明し、3 章で理論予測を行い、4 章でマルチエージェントシミュレーションの結果を示し、5 章でまとめる。

2 キーワードオークション

k 個のスロットと n 人のプレイヤーがいるとする。スロットとは広告が掲載される位置を意味する。スロットは、それぞれ click-through rates(CTRs) $\theta_i (\theta_1 > \dots > \theta_k)$ を持っている。CTR とは、広告が単位時間あたりクリックされる回数のことである。 θ_i はスロット i の広告が単位時間あたりクリックされる回数を示している。各プレイヤーは、それぞれ 1 クリックあたり $v_i (v_1 > \dots > v_n)$ の評価値を持っているとする。プレイヤー i の入札額を $b_i (b_1 > \dots > b_n)$ とする。スロット s を得たプレイヤーの支払額を p_s とする。

全てのメカニズムにおいて、掲載順位は入札額が高い順に広告の掲載順位が決定される。それぞれのメカニズムの支払額は以下ようになる。

- GFP(Generalized First Price Auction)
自分が入札した額そのものを支払うメカニズムである。つまり、入札者 i の支払額は $\theta_i b_i$ となる。
- GSP(Generalized Second Price Auction)
自分が提示した額の一つ下の額を支払うというものである。つまり、入札者 i の支払額は $\theta_i b_{i+1}$ となる。
- VCG(Vickrey-Clarke-Groves)
他の参加者に対する迷惑料を支払うというものである。入札者 i の支払額は $(\theta_i - \theta_{i+1})b_{i+1} + p_{i+1}$ となる。
- LEF-GSP
LEF 均衡を基に理論的に支払える最大額を支払額とするものである [3]。入札者 i の支払額は $(\theta_i - \theta_{i+1})b_i + p_{i+1}$ となる。

3 LEF 均衡に関する理論予測

Edelman ら [2] では、GSP, VCG について理論的な結果を証明し、考察している。そこでは、合理的な広告主を仮定すると GSP では LEF 均衡に収束することが証明されている。LEF 均衡とは GSP において、あるプレイヤー i がスロット s を得たとする。そのスロット s より上のスロット $s-1$ (式 1) またはその下のスロット $s+1$ を得ても利益が高くない状況(式 2)を指す。つまり、今いるポジションが最も良い利益が得られるということである。

$$\theta_s v_i - p_s \geq \theta_{s-1} v_i - p_{s-1} \quad (1)$$

$$\theta_s v_i - p_s \geq \theta_{s+1} v_i - p_{s+1} \quad (2)$$

On Stability of keyword auction based on Locally Envy Free Equilibria

†Takuya Yamamoto ‡Takayuki Ito

†Nagoya Institute of Technology, Department of Computer Science

‡Nagoya Institute of Technology, Master of Techno-Business Administration

本論文では、こうした理論予測に対して、マルチエージェントシミュレーションを行って、各メカニズムにおいて実際に起こりえる入札行動を観察し、安定性と収益性の比較をした。

4 実験概要・考察

広告主をエージェントとしたマルチエージェントシミュレーションを行った。エージェントは学習することで自分の利得を最大化する入札額を決定する。エージェントは必ずしも合理的でないとする。学習法はQ学習を用いた。前回のターンの結果を入力とし、入札額からの変化を出力とした。エージェントは ϵ グリーディ法を用い、行動 $a_t \in (0, 1, 2)$ を選び、そのターンの入札額を決定する。環境(他のエージェントの入札)を観測し、それに対して、入札額を $a_0 = \text{一つ上の入札額} + \text{最小可能増加額}$, $a_1 = \text{前回の入札額} + \text{同じ入札額(そのまま)}$, $a_2 = \text{一つ下の入札額} - \text{最小可能減少額}$ の3パターンの行動を取る。報酬は利得の1%とする。

問題設定は、広告主が3人(a,b,c)、それぞれ評価値が\$10, \$4, \$2を持っており、スロットが3つ(1,2,3)、それぞれ20click/h, 10click/h, 5click/hというCTRを持っているとする。

シミュレーションでは変数をそれぞれ、 $\epsilon = 0.1$, 最小可能増加(減少)額=0.1, 学習率 $\alpha = 0.05$, 割引率 $\gamma = 0.1$ とした。環境の状態 s は掲載順位によって決めた。広告主が3人の時、スロットの割り当て方の状態数は $3! = 6$ 通りある。

上記の設定で、マルチエージェントシミュレーションを行った。シミュレーションでは、学習のため10000ターンゲームを繰り返し、その後100ターンの平均データをとり、これを1ゲームとした。これを各メカニズムそれぞれ5000回ずつ行い平均を取った。

表1: それぞれのメカニズムでの入札値の平均

	広告主 a	広告主 b	広告主 c
GFP	1.587	1.061	0.896
GSP	2.040	1.461	1.079
VCG	3.334	2.801	2.355
LEF-GSP	2.831	2.278	1.909

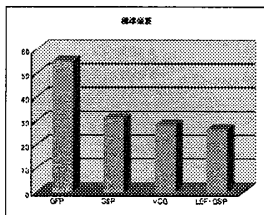


図1: 支払額の標準偏差

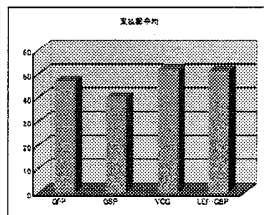


図2: 支払額の平均

表1はそれぞれのメカニズムでの入札値の平均で、図1は支払額の標準偏差、図2は支払額の平均である。図1, 2は左からGFP, GSP, VCG, LEF-GSPを示している。

表1では、GSPでの入札値ではLEF均衡になってはいなかった。また、全てのメカニズムにおいて、ほとんどの広告主は評価値よりも低い入札値をつけていた。これは、エージェント同士が協調することにより、利得を上げる事が出来るためだと考えられる。また、VCGでの広告主cのみ評価値より高い入札値をつけていた。これは、VCGの支払額の定義より、上のエージェントに嫌がらせをしても自分の利得に変化が無いためだと考えられる。

図1では、安定性は $LEF-GSP > VCG > GSP > GFP$ という結果が観察できた。また、GFPは支払額の安定性が他に比べて非常に悪い値になっている。

図2では、収益性は $VCG > LEF-GSP > GFP > GSP$ という結果が観察できた。VCGとLEF-GSPはスロットの価値の差を考えているメカニズムで、GFPとGSPはスロットの価値の差を考えていない。スロットの価値の差を考えているメカニズムでは、安定性が高く、収益性も上がるという結果が得られた。一般的にVCGは収益性は悪いとされているが、今回の設定状況では一番高いという結果が得られた。

以上より、VCGとLEF-GSPが安定性が高く収益性も高いという結果が得られた。しかし、ほとんどの広告主が評価値よりも低い入札値をつけており、より安定的で収益性の高いオークションプロトコルの設計をすることが今後の課題の一つとして挙げられる。

5 まとめ

本論文では、キーワードオークションを対象にし、マルチエージェントシミュレーションを行った。シミュレーション結果より、VCGとLEF-GSPが安定的で収益性も高い結果が得られた。また、理論予測とは異なったシミュレーション結果が得られた。

参考文献

- [1] 横尾 真: オークションの理論の基礎, 東京電機大学出版(2006)
- [2] EDELMAN, B., OSTROVSKY, M., SCHWARZ, M. Internet advertising and the generalized second price auction: Selling billions of dollars worth of keywords. American Economic Review, 2006
- [3] 山本拓也, 伊藤孝行, "キーワードオークションの Locally Envy-Free 均衡に基づく支払額決定機構の提案", 第6回情報科学技術フォーラム (FIT), 2007.