

インターネットオークションの理論 (応用)

横尾 真

九州大学大学院
システム情報科学研究所
知能システム学部門 教授

アウトライン

- キーワード広告
- 組合せオークション
 - 概要
 - 勝者決定問題
 - Vickrey-Clarke-Grovesメカニズム
 - 架空名義入札

Vickrey/第二価格秘密入札

- 理論的に優れた性質を持つ
 - 正直が最良の策, 英国式と結果は同じ, 社会的余剰(参加者の効用の総和)の最大化, 収入同値定理により, 主催者の収入の期待値は第一価格秘密入札と同じ
 - しかし, 現実に使われた例は少ない(最近までは!)
 - 問題点: 分かり難い, 自分の評価値が分からない, 売手が信用できない, 評価値 = 原価を知られたくない
- オークション理論は役に立たない?

キーワード広告

ハワイ - Google 検索 - Mozilla Firefox

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) 移動(Q) フックマーク(M) ツール(T) ヘルプ(H) ログイン

Google ウェブ イメージ ニュース マップ グループ more >>

ハワイ Google 検索 検索オプション 表示設定

◎ ウェブ全体から検索 ○ 日本語のページを検索

ウェブ ハワイの検索結果 約 15,300,000 件中 1 - 10 件目 (0.09 秒)

夏の旅行はJALでハワイへ スポンサー
www.jal.co.jp JALホームページ限定発売“Web悟空”が
とってもおトク!

ハワイの歩き方 スポンサー
「地球の歩き方」のハワイ専門サイト。毎日ハワイから最新
情報をお届けしています。おトクなホテルのオンライン予約、
割引クーポン、ショッピングセンター、グルメや ファミリー情
報など、その他にも盛りだくさん。
www.hawaii-arukikata.com/ - 65k -
キャッシュ - 関連ページ

ハワイ州観光局 (Hawai'i Tourism Japan: HTJ)
ハワイ州観光局の活動、国内の協賛・後援イベントや、広告
展開、メディアとのタイアップ 情報 ... ハワイ・コンベンショ
ン・センターの紹介と、ビジネス旅行に便利な情報。ハワイ
旅行について、よくあるご質問と、HTJからの回答です。 ...

ハワイで出会い、国際結婚 スポンサー
エグゼクティブとの素敵な出会い
御結婚までトータルサポート
www.emclub.net

H.I.S.の格安ハワイ旅行
人気のハワイ ホノルル5日間
52,800円から 他、お得な旅行満載
www.his-j.com

ハワイ現地ツアー予約専門
アランはツアー数豊富 300以上!
良心価格で安心。参加体験談も充実
www.alan1.net/jp/hawaii/

ハワイの情報がいっぱい
ハワイ最新情報、わかりやすい動画で
“BIGLOBEトラベル”が、ご紹介します!
travel.biglobe.ne.jp

キーワード広告の概要

- 広告主はキーワードに対して入札額を設定
- キーワードが検索されると、入札額の高い順に広告がユーザに提示される
- ターゲットを絞った広告が可能
- ユーザが広告のリンクをクリックした場合にのみ、広告主はサーチエンジンに広告料を支払う (pay-per-click)
- 広告料をどう設定するか？

広告料の設定方法

- 初期のシステムでは、広告主は入札に等しい額を支払っていた (first-price)
 - 入札額の設定方法が難しい
 - ダミーの検索を行い、入札額を変化させる等の行為が蔓延
 - k番目のスロットを得た広告主は、k+1番目の入札額に等しい額を払う方式 (second-price/Vickrey) に変更
 - 入札額が安定する
- 世界中で最も頻繁に実行されているオークション方式！

アウトライン

- キーワード広告
- 組合せオークション
 - 概要
 - 勝者決定問題
 - Vickrey-Clarke-Grovesメカニズム
 - 架空名義入札

組合せオークション

- 複数種類の商品 (財) が同時に販売される
- 各商品は複数個存在する場合もある
- 財の価値の間に依存関係が存在
 - 補完的: パソコンとメモリ
 - 代替的: VAIOとThinkPad

組合せオークションの利点

- 財の価値に依存関係がある場合：
 - 個々の財の価値は単独では決められない
 - パソコンがなければメモリは無価値
 - VAIOが買えればThinkPadは要らない
 - 財がバラバラに売られていると、入札額を決めるのが困難
- 財の任意の組合せに対する入札を許すことにより、安心して入札ができる
 - 両方欲しい, どちらか片方だけ欲しいという入札が可能

組合せオークションの適用事例

- FCCの周波数帯域のオークション
- 空港での離発着権の割当て
- トラック配送の請負
- 調達
- ...

調達

- 買手は一人, 売手は複数
- 安い価格を提示した売手が落札

問題点: 一円入札

- 以降の調達で有利になるように, 採算を度外視した入札を行う
- 関連する複数の調達 (コピー機本体, 消耗品, メンテナンス等) を組合せ入札で実行することにより改善可能

アウトライン

- キーワード広告
- 組合せオークション
 - 概要
 - 勝者決定問題
 - Vickrey-Clarke-Grovesメカニズム
 - 架空名義入札

勝者決定問題

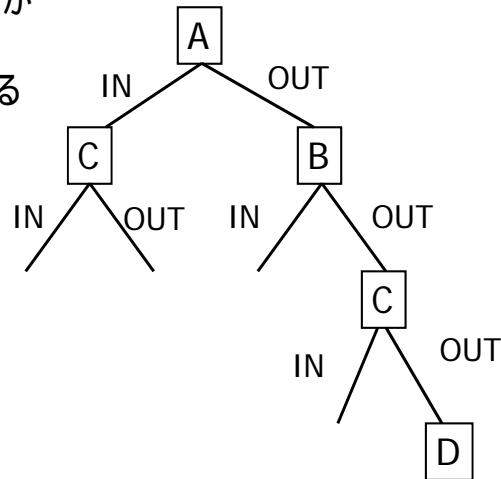
- 簡単化のための仮定：ある一人の買手は、ある一つの組合せのみに入札 --- 一般化は容易
例：
 - 入札者A: (1, 2) に\$40
 - 入札者B: (2, 3) に\$50
 - 入札者C: (3) に\$30
 - 入札者D: (1, 3) に\$60
 - 入札者E: (1) に\$10
- 売手は入札額の和が最大化されるように商品の割当て方法を決定 --- 勝者決定問題
 - A, Cが勝者となるのが、合計が\$70で最大

勝者決定問題の難しさ

- 入札者の数を n とすると、勝者の可能な組合せの数は 2^n
- Weighted Set Packing問題の一種
- NP完全と呼ばれる問題のクラスに属する

探索木

- 木の各節点(ノード)が入札/買手に対応
- その買手を勝者とする(IN)か、しないか(OUT)を選択
 - A: (1, 2)
 - B: (2, 3)
 - C: (3)
 - D: (1, 3)

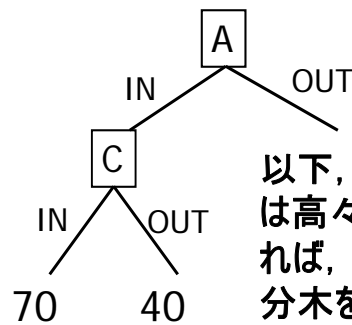


探索木の枝刈り

- 大規模な問題では探索木のすべてをチェックすることは不可能
- 探索木の一部をチェックするだけで、最適解を得ることができるか?
 - ある節点で、今後どのくらいの品質の解が得られるかの楽観的な推定値が得られれば可能
 - Branch & Bound (分岐限定法)

Branch & Bound

- A: $(1, 2) = 40$
- B: $(2, 3) = 50$
- C: $(3) = 30$
- D: $(1, 3) = 60$



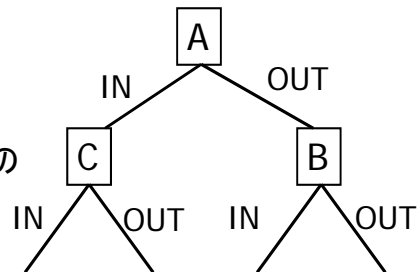
以下, 得られる解
は高々60と分か
れば, 以下の部
分木をチェックしな
くて良い

楽観的な推定値の求め方

- 線形計画法を使うと高速に解が得られる
- ただし, AとBが, ある財を半分ずつ分けるというような半端な解が得られてしまう
- 元の問題の制約を緩めた, より簡単な問題を解いているので, 楽観的な推定値が得られる

高速化のための工夫

- どの入札から考えるか?
 - 影響／入札額の大きいもの
 - 残りの問題が独立な副問題に分離できる (e.g., 東京と大阪の周波数帯域の割当て, 両方の組合せに入札しているのが一社のみ)
- IN/OUTのどちらを先にする?
 - 良い解が早く得られるほど分岐限定法は速い
 - 線形計画法で得られた解を参照



現時点での到達点

- 様々な工夫 (ヒューリスティックス) を導入した専用アルゴリズム (CABOB, Sandholm, *et al.*, 2001) で, 財の数10,000, 入札数1,000ぐらいの問題が数秒で解ける
- 商用の整数計画法 (線形計画法 + 整数条件) のパッケージ (e.g., ILOG社のCPLEX) でもかなり高速

アウトライン

- キーワード広告
- 組合せオークション
 - 概要
 - 勝者決定問題
 - Vickrey-Clarke-Grovesメカニズム
 - 架空名義入札

前提

準線形 (quasi-linear) の効用

- 財を落札した場合の効用 (うれしさ) は、財の価値と支払額の差で与えられる
 - 財が落札できなかった場合の効用は0
 - 財の価値に等しい価格で落札した場合の効用は0
 - 財の価値とは、落札してうれしい価格ではなく、落札してもうれしくない (落札しないのと無差別な) 価格

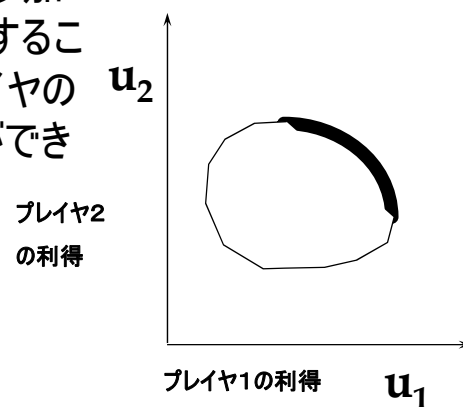
個人価値の財: 財の価値は曖昧性なく、他者の価値とは独立に決定される

オークションプロトコルに 望まれる性質

- 社会的には,
 - 割当て結果がパレート効率的であること (全員が今より幸せになることはない状態が達成される)
 - プロトコルが不正行為に対して頑健であること
- 買手にとっては, 支配戦略 (最適な戦略) があること
- 売手にとっては, なるべく収入が多いこと

パレート効率性

- いずれかのプレイヤー (参加者) の利得を犠牲にすることなしには、他のプレイヤーの利得を向上することができない状態

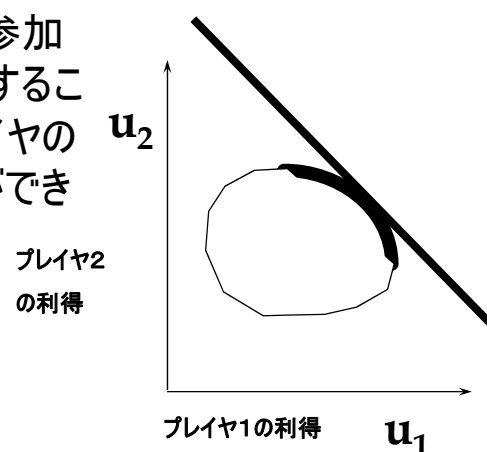


社会的余剰 (Social Surplus)

- お金で効用がやりとりできるため、パレート効率的な割当てでは、参加者全員 (売手と買手) の効用の和 (社会的余剰) は最大化される
- 一般にはパレート効率性は社会的余剰の最大化を意味しない
 - 可能な状態が $(100, 1)$, $(99, 99)$ しかなければ、これらはどちらもパレート効率的
 - お金で効用が移動できる場合、 $(99, 99)$ が実現可能なら $(100, 98)$ も実現可能

パレート効率性

- いずれかのプレイヤー (参加者) の利得を犠牲にすることなしには、他のプレイヤーの利得を向上することができない状態



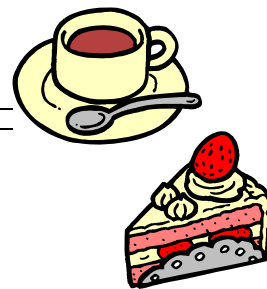
Vickrey-Clarke-Groves (VCG) メカニズム (一般化Vickreyオークション)

- 各参加者は財のセットに関して評価値を申告.
- 申告された評価値に基づいて, パレート効率性 (社会的余剰の最大化) が実現されるように財が割り当てられる.
- 参加者は迷惑料 (その参加者が入札に参加することによって生じる, 他の参加者の社会的余剰の減少分) を支払う.
- 誘因両立的(正直が最良の策)で結果はパレート効率的

VCGの例

三人の入札者, 二種類の財のオークション

	coffee	cake	both
Bidder1	\$6	\$0	\$6
Bidder2	\$0	\$0	\$8
Bidder3	\$0	\$5	\$5



結果:

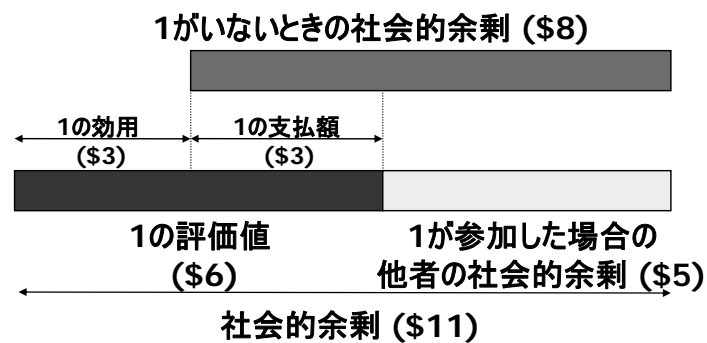
- 入札者1 がコーヒーを, 3 がケーキを落札.
- 入札者1の支払額は $\$8 - \$5 = \$3$
- 入札者3の支払額は $\$8 - \$6 = \$2$

VCGの詳細

- 勝者決定問題を解いて, パレート効率的な割当を求める
- パレート効率的な割当で, 財の集合Bを得ている参加者iの支払額を以下で計算する
 - $p_{B,i} = V^*(M, N-\{i\}) - V^*(M-B, N-\{i\})$.
 - $V^*(\text{財の集合}X, \text{入札者の集合}Y)$: 財の集合Xを, 入札者の集合に最適に割り当てた場合の入札額の和

VCGの誘因両立性

- 財の割当ては社会的余剰が最大化されるように行われる.
- 全体の幸せと個人の幸せが一致すれば良い (incentive compatibility).



VCGの誘因両立性(詳細)

- $p_{B,i} = V^*(M, N-\{i\}) - V^*(M-B, N-\{i\})$.
 - $V^*(\text{財の集合} X, \text{入札者の集合} Y)$: 財の集合 X を, 入札者の集合に最適に割り当てた場合の入札額の和
- パレート効率的な割当は $V^*(M, N)$ を最大化
- 入札者 i の B の評価値を v_B とすると, 入札者 i の効用は,

$$v_B - p_{B,i}$$

$$= v_B + V^*(M-B, N-\{i\}) - V^*(M, N-\{i\})$$

$$= V^*(M, N) - V^*(M, N-\{i\})$$

クラーク税

- VCGは, より一般的な, グループ意思決定の場面で用いることができる
- 例: このシンポジウムを一時間延長して, さらに詳しいトピックの解説をするかどうか (全員参加!) を決める
 - 延長をしない場合を0として, 人によって効用は様々 (\$15, -\$10, ...)
 - 真の効用の和が正なら延長し, 負ならしない方が良い
 - 正直に効用を申告させるにはどうしたら良いか?

クラーク税の適用方法

- 各参加者は、自分の申告により結果が変わる場合、結果を変えるのに必要な最少額を税金として支払う
 - 参加者1: \$15, 参加者2: -\$10, 参加者3: -\$20, 参加者4: \$35
 - 合計は\$15, 延長は実施
 - 参加者1, 2, 3は、それぞれ除外しても結果は変わらないので税金は0
 - 参加者4を除外すると合計は-\$15で延長しない。よって参加者4の税金は\$15 (参加者4は税金を払っても、延長した方が幸せ)

クラーク税の注意点

- 集めた税は、参加者以外の誰かに渡す必要がある --- 参加者内で再分配してはいけない
- 例: 集めた税で打ち上げの飲み会をする
 - 他人に多く税金を払わせれば、結果／自分の税額が変わらなくても利益になる
- オークションの場合は主催者が引き取るので問題ない

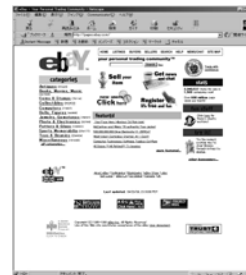
アウトライン

- キーワード広告
- 組合せオークション
 - 概要
 - 勝者決定問題
 - Vickrey-Clarke-Grovesメカニズム
 - 架空名義入札

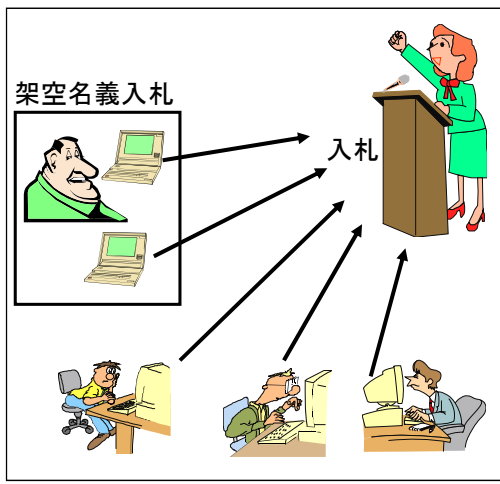
インターネットオークション



- 現在, 多数のオークションサイトが存在.
- 利点
 - 誰でも世界中のオークションに参加できる.
 - エージェントが代行してくれる.
- 問題点
 - ネットワークの匿名性を利用した新しいタイプの不正行為の可能性 (架空名義入札)



架空名義入札



- 一人の人が、複数の人になりすまして、複数の名義で入札をすること
- ネットワーク環境では検出することは事実上不可能

架空名義入札の効果がある (誘因両立性が成立しない) 例



入札者は二人

	coffee	cake	both
Bidder1	\$6	\$5	\$11
Bidder2	\$0	\$0	\$8

	coffee	cake	both
Bidder1	\$6	\$0	\$6
Bidder2	\$0	\$0	\$8
Bidder3	\$0	\$5	\$5

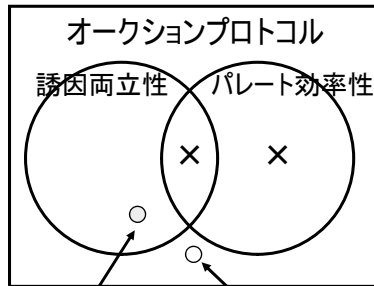
正直に申告した場合:

- 入札者1が両方の財を得る.
- 支払額: $\$8 - \$0 = \$8$

入札者1が入札者3 という名義を使って入札を分割した場合:

- 入札者1 が両方の財を得る.
- 支払額: $\$3 + \$2 = \$5$

主な研究成果



準最適で誘因両立性を満たすプロトコル

VCG

■VCGが架空名義入札に対して頑健でないことを指摘

■架空名義入札が可能な場合、誘因両立性、パレート効率性を同時に満たすプロトコルは存在しないことを証明

■ある性質を満足する誘因両立的なプロトコルが存在しない場合、一般にその性質は満足できないこと（顕示原理）を証明

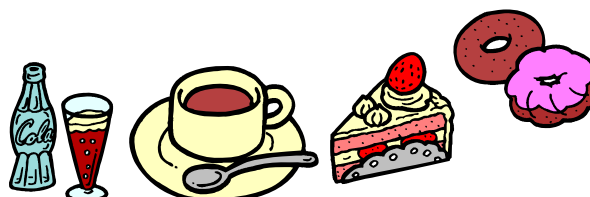
■誘因両立性を満たし、準最適なオークションプロトコルを考案

トリビアルな方法 (Set Protocol)

プロトコル: Vickreyオークションプロトコルを用いて常にすべての財をセットで売る.

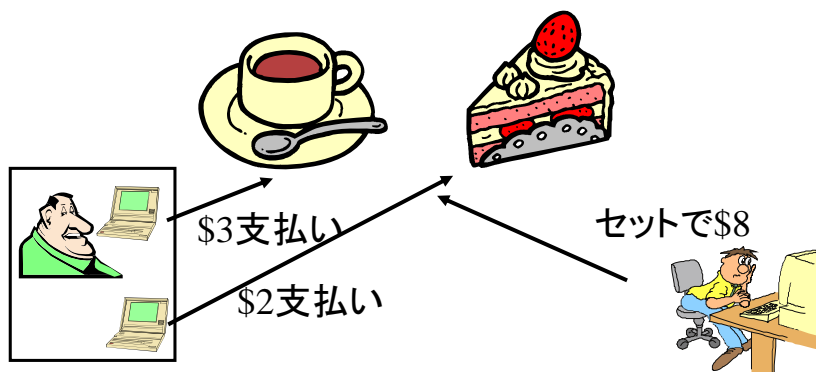
- 財が代替的な場合には無駄

状況に応じて財を分割して売るプロトコルを考える必要がある.



必要条件

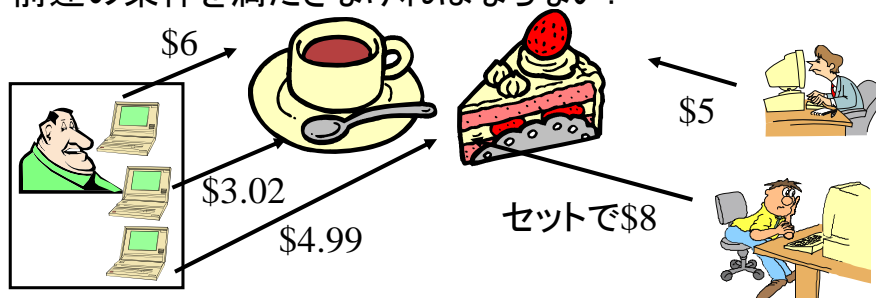
- 財 A と B が個別に売られる場合には支払額の和は, セットに対する最大の評価値以上である必要がある.



頑健でないプロトコル

プロトコル: GVA を用いて (暫定的に) 勝者と支払額を決定, 財が個別に売られ, かつ支払額の和がセットの最大の評価値以下であれば, 財をセットで売る. その他の場合はGVAの結果を利用.

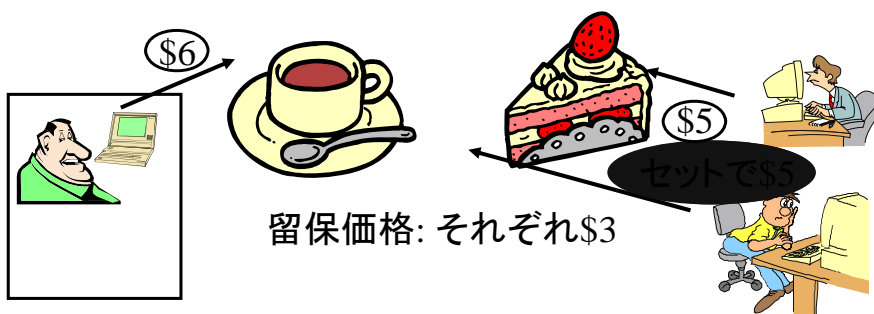
ジレンマ: 実際の支払額を用いずに, 支払額に関する前述の条件を満たさなければならない.



解決方法: 留保価格の利用

留保価格: 財A (もしくは財B) に対する支払額は, あらかじめ定められた最低価格 r_A (もしくは r_B) 以上とする.

プロトコル: もしセットで $r_A + r_B$ 以上の入札をしているエージェントがいればセットで売る. そうでなければ個別に売る. 決して留保価格以下では売らない.



レベル付き分割セット

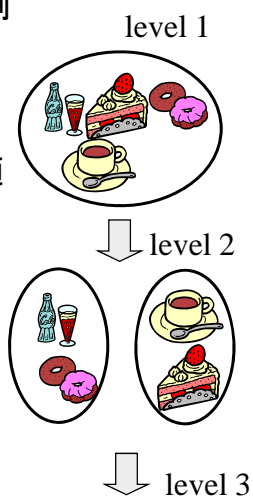
(Leveled Division Set, LDS) プロトコル

- 売手は一連の財の組合わせ (レベル付き分割セット) と留保価格を公表

プロトコル:

1. 財が level 1の分割で売却可能なら, 現在のレベルの分割のみを考慮してGVAを適用
2. そうでなければ level 2に行く, 以下同様.

レベル付き分割セットは, あるレベルの分割の和集合が, かならずより小さい (より前にある) レベルに含まれているように定義される (より大きな集合に優先権を与える)



参考文献

解説

- インターネットオークションの理論と応用,
横尾 真, 人工知能学会誌, Vol.15, No.3, 2000.

入門書

- オークション理論の基礎, 東京電機大学出版会,
2006

専門書

- Auction Theory, Vijay Krishna, Academic
Press, 2002