

会議室予約システムのための組み合わせオークションシステムの設計

小野 智弘[†] 西山 智[‡] 堀内 浩規[†]

株式会社 KDDI 研究所[†]

株式会社 YRP ユビキタスネットワーク研究所[‡]

本稿では、会議室のタイムスロットの予約を組み合わせオークションを利用して実現する方式を検討する。ここでは、ユーザからの複数の連続するスロットに対する要求と、スロットの割り当て期限ぎりぎりに到着する要求の双方を取り込む必要がある。筆者らはこれまでに、いずれかの商品の割り当て期限が来る毎に現在と未来の組み合わせ入札を考慮して商品割り当てを決めることにより双方の要求条件を満足可能な組み合わせオークション方式を検討してきた。今般、本オークション方式を会議室予約に適用するために、入札の有効期限や棄権への対処等の詳細化を行い、システム設計と評価を行ったので報告する。

Design of Auction-based Meeting Room Reservation System

Chihiro Ono[†], Satoshi Nishiyama[‡] and Hiroki Horiuchi[†]

KDDI R&D Laboratories Inc.[†]

Ubiquitous Network Laboratory, YRP, Inc.[‡]

This paper describes the online auction-based reservation system for the time slots of meeting room. Here, this system is required to consider both the demands for multiple slots and demands which arrive just before the deadline. We have been studying the combinatorial auction mechanism which perform the allocation of all slots whenever it reaches the deadline of one of the slots by taking account of future bids. In this paper, we design the reservation system based on the mechanism by adding withdrawal mechanism and bid lifetime. We show the effectiveness through the evaluation.

1. はじめに

企業や各種機関等で共同で利用する会議室予約の需要はユーザ毎に異なり、均等に分散する場合も集中する場合もある。また、時期や曜日、時間帯、業務の状況等により頻繁に変化する。このため、オンラインでの会議室の予約システムの構築には、市場原理に基づいて商品の割り当てと価格を決定するオークション形式での販売が適していると考えられる。

オークション方式は単一商品に対して競り上げ式の入札を行う英国式オークション以外

にも数多く検討されており[1]、特に最近では、複数の商品を効率的に扱う組み合わせオークション方式が話題となっている[2]。組み合わせオークションは、売り手が複数の異なる商品を登録し、買い手がその中から任意の商品の組み合わせを指定して入札し、売り手は収集した入札の集合から最大の合計利益を得られる入札群にそれぞれ商品を割り当てるものである。

会議室の予約をオークションで実施するには会議室を時間帯毎にタイムスロットとして区切って販売することとなるが、ここでは大き

く2つの特徴を考慮する必要がある。第一に、スロットを1つだけ必要とするユーザのみでなく、複数の連続するスロットが必要なユーザもいる。第二に、売り手にとっては各スロットはそれぞれの開始直前までに売ればよいし、各スロット開始に近づいてからユーザの需要が生じることも多い。

第一の特徴に対処するためには、ある時刻（例えば第1スロットの開始前）で一斉に全てのスロットを対象とした組み合わせオークションを開催することが考えられる。ところが、本方式は商品の割り当て期間間に生じたユーザの需要は取り込むことができない。

一方、第二の特徴に対処するために、個々のスロット毎に英国式オークション等の単一商品オークションを実施することが考えられる。ところが、複数スロットを希望するユーザはその一部だけを落札してしまう危険があるため、第一の特徴は満足できない。

例えば、10時から12時までの会議室のオークションを考える。ユーザAが10:00-11:00を、ユーザBが11:00-12:00を、ユーザDが10:00-12:00を要求とする。この場合、9:50に組み合わせオークションを行い、ユーザAとBの入札金額の和とCの入札金額を比較することが考えられるが、11:00-12:00を必要とするユーザDの要求が10:00以降に到着しても取り込むことはできない。一方、10:00-11:00を9:50を締め切りとする英国式オークションで販売し、11:00-12:00を10:50を締め切りとする英国式オークションで販売した場合、ユーザDは入札可能となるが、ユーザCは片方だけ落札してしまうというリスクがあるため、入札はできない。

筆者らはこれまでに複数の異なる割り当て期限をもつ商品について、商品の任意の組み合わせに対する入札を受け付け、いずれかの商品

の割り当て期限が来る毎に勝者を判定する方式を検討してきた[3]。勝者判定では受け付けた入札に加えて未来に到着する入札も考慮している。

本稿では同方式を会議室予約に適用するために、入札の有効期限や棄権等への対処等の詳細化を行い、システム設計と評価を行ったので報告する。

以下、2章では扱う問題を記述し、3章ではこれまでに検討してきた方式と課題について述べる。4章ではシステムの設計、5章では評価を述べる。6章では考察を行い、最後に7章で本研究のまとめを述べる。

2. 問題の記述

2.1. タイムスロット

本オークションで扱う商品は、会議室の1つの区切られた時間 (= タイムスロット) である。 n をスロット数とする。例えば $n=3$ とすると、スロットの割り当て候補は、 $\{1,2,3\}$ 、 $\{1,2\}$ と $\{3\}$ 、 $\{1\}$ と $\{2,3\}$ 、 $\{1,3\}$ と $\{2\}$ 、 $\{1\}$ と $\{2\}$ と $\{3\}$ となる。図1に示すように、 t_0 をオークションの開始時刻、 t_i をスロット i の開始直前の時刻 (= 割り当て期限) とする。また l_i を、時刻 t_i と時刻 t_{i+1} の間の長さとする。

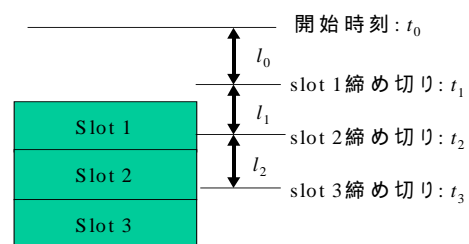


図1 タイムスロット

2.2. 売り手・買い手の仮定

ここでは、売り手、買い手 (= ユーザ)、オ

オークションの3種類を扱う。

売り手は複数のスロットを売りに出し、合計販売価格が最大となるようにスロットが割り当てられることを望む。説明の簡単化のために、売り手が一人で全てのスロットを売りに出すと仮定する。

買い手は1つまたは複数のスロットを希望し、そのスロットの組み合わせと金額を指定して入札を行う。買い手に関する仮定を以下のとおりとする：

- 1) 各買い手はオークションに到着後、希望する組み合わせに支払いたい価格をそのまま即座に入札する。つまり、価格とタイミングに関する駆け引きは行わない。
- 2) 各買い手は、唯一の希望するスロット（またはその組み合わせ）のみ希望する。例えば、 $\{1, 2\}$ を希望する買い手は、スロット1だけに対する価値もスロット2だけに対する価値も0である。
- 3) 各買い手の希望は独立で、他の買い手に依存しない。

オークションは売り手の代わりにオークションを開催し、買い手から受け付けた入札の中から合計入札価格を最大化するようにスロットを買い手に割り当てる。

3. 既存のアプローチと課題

3.1. 既存のアプローチ

本方式の概要は、「複数の異なる割り当て期限をもつスロットについて、任意の組み合わせに対する入札を受け付け、いずれかのスロットの割り当て期限が来る毎に、現在と未来の入札を考慮して勝者を決定する」である。以下に手順を述べる。

1. 売り手はオークションに連続する複数のスロットを登録し、オークションは時刻 t_0 にオークションを開始する。

2. 買い手はオークションに到着後、希望する唯一つのスロットの組み合わせに入札する。
3. 時刻 t_i において、オークションはこれまでに受け付けた全ての入札を集め、割り当てを計算する。
4. オークションはスロットの割り当てを実行し、ユーザへ通知する。ここでは締め切りの来るスロット i を含む入札のみを割り当てる。
5. オークションはスロットが残っていたらオークションを再開する。
6. 上記プロセスを全てのスロットの割り当てが完了するまで繰り返す。

3.2. スロットの割り当て計算

オークションは割り当て計算時に、これまでに受け付けた入札実績に基づいて、その時点から割り当て期限までに期待できる入札額を推定し、活用する。具体的手順は以下のとおり：

- 各組み合わせについて、これまでに同一組み合わせに来た入札の個数と価格から、これから割り当て期限までに来る個数、最高額を推定する。
- この予測のための計算式としては、例えば入札数、入札額が一様分布であると仮定して比例配分で計算することが考えられる。
- 各組み合わせについて予測した推定最高額とこれまでの最高額を比較し、大きい方を利用して割り当て計算を行う。

3.3. 既存アプローチの課題

上記アプローチは有効であるが、次の2点が課題となる。第一に、一般には売り手の割り当て期限は買い手の意思決定の締め切り期限ではないことを考慮する必要がある。例えば売り手は会議室は5分前に売ればよいが、遠方の

買い手にとっては、最低 1 時間前に購入する必要がある。第二に、柔軟性を向上させるためには、買い手が登録した入札を任意の時点で棄権できる仕組みが必要である。

4. システムの設計

4.1. 課題の解決指針

第一の課題への対処としては、入札のパラメータとして、希望するスロットの組み合わせと価格に加えて、「有効期限」を持たせ、買い手が入札時に指定可能とする。また、オークション側にて各入札の有効期限を保持し、割り当て計算や入札の管理に利用する。

第二の課題への対処としては、各スロットの締め切り時刻 (t_i) 直後に買い手が入札を「棄権」することを可能とする機能を盛り込む。

また、この有効期限や棄権の可否等は期待価格の推定方法に影響を与えるため、オークションにおける割り当て処理を「期待利得の計算」、「割り当て候補の計算」、「割り当て決定」の 3 段階で実施し、有効期限や棄権の有無に応じて、割り当て候補の計算や割り当て決定計算を切り替えることとする。

4.2. 詳細アルゴリズム

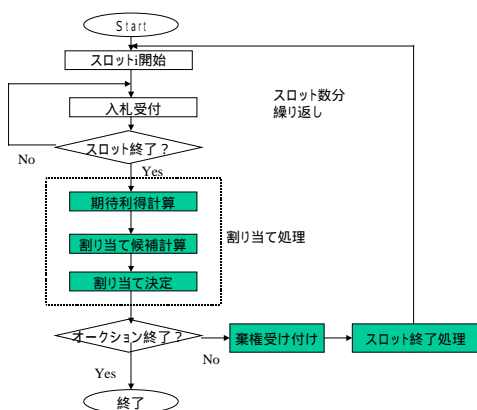


図 2 詳細処理手順

図 2 にオークション側における処理の詳細

手順を示す。従来と処理が異なる部分を網掛けで示している。

割り当て処理では、期待利得を計算し、期待利得に基づいて割り当て候補を見つけ、その中から棄権の可否や有効期限の有無に応じて割り当てを決定する。各処理は以下のとおり。

[期待利得の計算] ここでは、1) 今までに受け付けた入札に基づいて将来の推定入札価格を予測する手法、または、2) 締め切りまでの期間の長さに基づいて受け付けた入札の入札額に上乘せをする手法を採用する。

[割り当て候補計算] ここでは、現実に収集した入札ではなく、上記の手法で計算した期待利得を利用して割り当て候補を算出する。具体的には期待利得の総利得を最大とする入札群を割り当て候補とする。

[割り当て決定] ここでは割り当て候補の中から実際に割り当てる入札を決定するが、有効期限の設定や任意の契機での棄権を許可するか否かに応じて以下の方針で実施する。

- 有効期限の設定を許可する場合：
締め切りが来る商品を含む組み合わせに対する入札と、有効期限が来る入札を割り当てる。その他は割り当てない。
- 任意の契機での棄権を許可する場合：
割り当て候補内の入札全てを割り当てる。
- 上記のいずれも許可しない場合：
締め切りの来る商品を含む組み合わせに対する入札だけを割り当てる。

[棄権受け付け] ここでは、買い手にスロット終了を告知し、一定時間、買い手からの棄権要求を受け付ける。

[スロット終了処理] ここでは、1) 割り当てが決定された入札、2) 締め切りが来た商品を含む組み合わせに対する入札、3) 有効期限を過ぎた入札、の全てをサーバから削除し、残りの入札を次のスロットでの判定に持ち越す。こ

ここで次のスロットとは、最も割り当て期限の早い未割り当てスロットとする。

4.3. 実施例

$n=3$ の場合について、実施例を述べる。取りうる組み合わせは $\{1\}$ 、 $\{2\}$ 、 $\{3\}$ 、 $\{1,2\}$ 、 $\{1,3\}$ 、 $\{2,3\}$ 、 $\{1,2,3\}$ である。 $l_i=1$ とする。表1に時刻 t_1 における、 t_1 までに受け付けた最高入札額(BP(x))、 t_1 から組み合わせの締め切り時刻までの推定入札額(EP(x))、最終的な期待価格(VP(x))を示す。推定入札額は、それぞれの最高額に対して定数値(ここでは1.1)を締め切りまでのスロット数分乗じた額とした。

x	BP	EP	VP
{1}	0.8	-	0.8
{2}	0.6	0.66	0.66
{3}	0.4	0.48	0.48
{1,2}	1.2	-	1.2
{1,3}	1.6	-	1.6
{2,3}	1.8	1.98	1.98
{1,2,3}	2.5	-	2.5

表1 入札履歴

この瞬間では、最も良い割り当ては、 $\{1\}$ と $\{2,3\}$ である。ここでの期待総利得は、 $0.8+1.98=2.78$ となる。

従って、棄権がない場合は $\{1\}$ を最高入札者へ割り当て、 t_2 まで待つことになる。棄権が許可されている場合は、 $\{2,3\}$ も最高額入札者へ割り当てる。有効期限が設定されている場合は、 $\{2,3\}$ の最高額の有効期限が同スロットと指定されていれば割り当て、そうでなければ t_2 まで待つことになる。

次に、 $\{2,3\}$ が残ったと仮定し、 t_1 と t_2 の間で、 $\{2\}$ に対して 0.5、 $\{3\}$ に対して 0.7、 $\{2,3\}$ に対して 1.9 の入札があったとする。すると、 t_2 における入札履歴は表2のようになる。

結局、最も効率的な割り当ては、 $\{2,3\}$ を割り当てることとなる。

x	BP	EP	VP
{2}	0.6	-	0.6
{3}	0.7	0.77	0.55
{2,3}	1.9	-	1.9

表2 t_2 における入札履歴

5. 評価

4章で検討したアルゴリズムの有効性について、得られる総利得の観点から評価を行った。

5.1. 設定

棄権の許容度(不許可、有効期限、任意許可)と、期待価格の利用度(利用しない場合とした場合)に応じた、得られる総利得の平均を比較した。全スロット数は200スロットとし、評価に用いた入札については、組み合わせは直近の4スロットの中から任意のスロットを選択肢、入札額は入札する商品の個数を K とし、平均 $K/2$ で実質的に0から K の範囲でデータが生成される正規分布で生成した。期待価格算出に当たっての上乗せ額は $1.1 \cdot (\text{スロット数})$ とした。

5.2. 結果

	期待利得を利用	利用せず
棄権不許可	1512	1468
有効期限	1430	1335
棄権許可	1413	1234

表3 総利得の比較

評価結果を表3に示す。棄権許可・不許可ならびに、有効期限指定可の場合のいずれも、期待利得を利用した場合のほうが高い総利得をあげている。また、期待利得を場合もしない場合も、柔軟性が少ないほど高い総利得を得られているが、期待利得を利用している場合の方が、柔軟度が高い(棄権許可、有効期限指定可)場

合でも、総利得の減り方が少なく抑えられた。

6. 考察

本章では、期待利得の求め方、計算量、評価方法について考察する。

6.1. 期待利得について

本稿では、既存の入札に一定割合を乗じたものを期待利得として利用したが、例えば希望する買い手は一定確率で現れると仮定して、時間の比例配分で入札数と入札額を推定する方法がある。また、適用先のドメインでの実際のユーザの行動の学習等に基づく期待値計算等についても、今後検討する必要がある。

6.2. 計算量について

本方式において計算量の観点から考慮すべきは、割り当て計算と期待利得の計算となる。前者では、これまでの研究成果[4][5][6]が適用可能である。また、会議室のオークションでは計算量を削減するために、以下のような制約を検討する余地がある。まず、スロットの組み合わせとして、連続したスロットのみを許可することとする。例えば、例では{1,3}を許可しない。これにより、取りうる組み合わせの数は大幅に削減できる。また、入札対象を入札時点から一定スロット先に限定する(例えばスロット1の時点ではスロット10までの入札に限る等)ことにより、さらに削減可能である。

一方期待利得については、履歴に基づく学習機能を用いると複雑な演算となるため、期待利得の増加分と計算量とのトレードオフで決定する必要がある。

6.3. 評価方法について

今回は、ダミー入札を行って評価を行ったが、実際の効用を確認するためには被験者を用いた実験が必要である。この状況下では、情報の開示度やスロット間に入札方式によって被験者の入札の内容が変わる可能性があるため、ス

ロット毎に情報の開示度を選択可能とする実装が必要となる。

7. おわりに

本稿では、会議室予約のための組み合わせオークションを実現するために、いずれかのタイムスロットの割り当て期限が来る毎に現在と未来の組み合わせ入札を考慮して割り当てを決定する方式において、入札の有効期限や棄権等への対処等の詳細化を行い、システム設計と評価を行った。今後は被験者を用いた評価を行うとともに、期待利得の計算方法、不正入札への対処等の検討を行っていく予定である。最後に日頃ご指導頂く KDDI 研究所浅見代表取締役所長、松島代表取締役副所長、および水池取締役役に深く感謝致します。

参考文献

- [1] P. Klemperer, Auction theory: a guide to the literature, Journal of economic surveys, pp. 227-286, 1999.
- [2] S. D. Vries and R. Vohra, Combinatorial Auctions: A Survey, draft, 2000
- [3] E.Kazumori, C.Ono, S.Nishiyama, H.Horiuchi, An Efficient Combinatorial Auction for Sequentially Arriving Bidders, In Proc. of IC-AI, 2002
- [4] C. Ono, S. Nishiyama, H.Horiuchi, Reducing Complexity in Winner Determination for Combinatorial Ascending Auction, Journal of Electronic Commerce Research, to appear.
- [5] Y. Fujishjima, K. Leyton-Brown, Y. Shoham, Taming the Computational Complexity of Combinatorial Auctions: Optimal and Approximate Approaches, In Proceedings of IJCAI, 1999
- [6] T. Sandholm, An Algorithm for Optimal Winner Determination in Combinatorial Auctions, In Proceedings of IJCAI, 1999