سیستم‌های چندعاملی

درس ۱۵

حراج

Auction

کاظم فولادی قلعه
دانشکده مهندسی، دانشکدگان فارابی
دانشگاه تهران

http://courses.fouladi.ir/mas

تخصیص منابع کمیاب

ALLOCATING SCARCE RESOURCES

تخصیص منابع کمیاب میان تعدادی عامل
یک مسئله‌ی محوری در سیستم‌های چندعاملی است.

منبع:
- یک شیئ فیزیکی
- حق استفاده از یک زمین
- منابع محاسباتی (پردازنده، حافظه، ...)
- ...

اگر منبع کمیاب نباشد	⇐	تخصیص ساده است!
اگر برای منبع رقابت نباشد	⇐	تخصیص ساده است!
✓ اگر منبع کمیاب باشد	⇐	تخصیص با **حراج**

حراج

AUCTION

حراج *Auction*	حراج با تعدادی **معامله‌گر** *(trader)* و تخصیص‌های آنها سروکار دارد: * واحدهای **کالای** تقسیم‌ناپذیر * واحدهای **پول** تقسیم‌پذیر
مبادله *Excahnge*	تبدیل آزاد تخصیص کالاها و پول بین معامله‌گران

حراج

حد قیمت

LIMIT PRICE

حد قیمت *Limit Price*	هر معامله‌گر، دارای یک ارزش یا حد قیمت است که برای یک کالا گذاشته می‌شود.

خریداری که برای یک کالا بیش از حد قیمت می‌پردازد، ضرر می‌کند.

فروشنده‌ای که برای یک کالا کمتر از حد قیمت می‌گیرد، ضرر می‌کند.

حد قیمت، به‌وضوح بر رفتار معامله‌گران تاثیر می‌گذارد.

حراج

حد قیمت : انواع

LIMIT PRICE

حد قیمت (ارزش) *Limit Price (Value)*		
ارزش خصوصی *Private Value*	**ارزش مشترک (عمومی)** *Common (Public) Value*	**ارزش همبسته** *Correlated Value*
ارزش یک کالا تنها به ارجحیت شخصی عامل وابسته است. (ارزش یک کالا برای من مستقل از ارزش آن کالا برای شماست.)	ارزش یک کالا به ارزش‌گذاری سایر عامل‌ها وابسته است. (کالا ارزش یکسانی برای همه‌ی ما دارد، اما ما تخمین‌های متفاوتی از آن داریم.)	ارزش یک کالا، بخشی وابسته به ارجحیت خود عامل و بخشی وابسته به ارزش‌گذاری سایر عامل‌هاست.

"... An auction is a market institution in which messages from traders include some price information — this information may be an offer to buy at a given price, in the case of a bid, or an offer to sell at a given price, in the case of an ask — and which gives priority to higher bids and lower asks..."

This definition, as with all this terminology, comes from Dan Friedman

پارامترهای حراج

AUCTION PARAMETERS

پارامترهای حراج *Auction Parameters*						
تعداد بعد *Dimensions*	سمت بازار *Market Side*	نوع پیشنهاد *Bids*	پیشنهاد *Bidding*	تعداد واحد *Units*	پرداختی *Winner Pay*	تعداد اقلام *Items*
تک–بعدی *1-Dimensional*	یک‌طرفه *Single-Sided*	فریاد علنی *Open Cry*	یک‌ضرب *One-Shot*	تک–واحدی *Single-Unit*	نخستین قیمت *First-Price*	تک–قلمی *Single-Item*
چند–بعدی *N-Dimensional*	دوطرفه *Two-Sided*	پاکت مخفی *Sealed Bid*	صعودی *Ascending*	چند–واحدی *Multi-Unit*	قیمت چندم *Kth-Price*	چند–قلمی *Multi-Item*
			نزولی *Descending*			

پارامترهای حراج

تعداد بعد : تک–بعدی

AUCTION PARAMETERS

پارامترهای حراج *Auction Parameters*						
تعداد بعد *Dimensions*	سمت بازار *Market Side*	نوع پیشنهاد *Bids*	پیشنهاد *Bidding*	تعداد واحد *Units*	پرداختی *Winner Pay*	تعداد اقلام *Items*
تک–بعدی *1-Dimensional*	یک‌طرفه *Single-Sided*	فریاد علنی *Open Cry*	یک‌ضرب *One-Shot*	تک–واحدی *Single-Unit*	نخستین قیمت *First-Price*	تک–قلمی *Single-Item*
چند–بعدی *N-Dimensional*	دوطرفه *Two-Sided*	پاکت مخفی *Sealed Bid*	صعودی *Ascending*	چند–واحدی *Multi-Unit*	قیمت چندم *Kth-Price*	چند–قلمی *Multi-Item*
			نزولی *Descending*			

تک–بعدی
Single-Dimensional

محتوای یک پیشنهاد فقط قیمت و تعداد یک نوع کالای خاص است.

مثلاً: پیشنهاد *200$* برای ۲ عدد صندلی (هرکدام)

پارامترهای حراج

تعداد بعد: چند–بعدی

AUCTION PARAMETERS

پارامترهای حراج *Auction Parameters*						
تعداد بعد *Dimensions*	سمت بازار *Market Side*	نوع پیشنهاد *Bids*	پیشنهاد *Bidding*	تعداد واحد *Units*	پرداختی *Winner Pay*	تعداد اقلام *Items*
تک–بعدی *1-Dimensional*	یک‌طرفه *Single-Sided*	فریاد علنی *Open Cry*	یک‌ضرب *One-Shot*	تک–واحدی *Single-Unit*	نخستین قیمت *First-Price*	تک–قلمی *Single-Item*
چند–بعدی *N-Dimensional*	دوطرفه *Two-Sided*	پاکت مخفی *Sealed Bid*	صعودی *Ascending*	چند–واحدی *Multi-Unit*	قیمت چندم *Kth-Price*	چند–قلمی *Multi-Item*
			نزولی *Descending*			

چند–بعدی *Multi-Dimensional*	پیشنهادها می‌توانند به جنبه‌های مختلفی از تعداد زیادی کالای متفاوت مربوط باشد.

مثلاً: من آماده‌ام برای این ۲ صندلی قرمز *200$* بپردازم،
اما اگر بتوانی آنها را فردا به من تحویل بدهی می‌توانم *300$* بپردازم.

پارامترهای حراج

سمت بازار: یک–طرفه

AUCTION PARAMETERS

پارامترهای حراج *Auction Parameters*						
تعداد اقلام *Items*	پرداختی *Winner Pay*	تعداد واحد *Units*	پیشنهاد *Bidding*	نوع پیشنهاد *Bids*	**سمت بازار** *Market Side*	تعداد بعد *Dimensions*
تک–قلمی *Single-Item*	نخستین قیمت *First-Price*	تک–واحدی *Single-Unit*	یک‌ضرب *One-Shot*	فریاد علنی *Open Cry*	**یک‌طرفه** *Single-Sided*	تک–بعدی *1-Dimensional*
چند–قلمی *Multi-Item*	قیمت چندم *Kth-Price*	چند–واحدی *Multi-Unit*	صعودی *Ascending*	پاکت مخفی *Sealed Bid*	دوطرفه *Two-Sided*	چند–بعدی *N-Dimensional*
			نزولی *Descending*			

یک–طرفه *Single-Sided*	هر یک از حالت‌های: **یک** خریدار و **چند** فروشنده / **یک** فروشنده و **چند** خریدار

بازار سمت فروش *(sell-side)*: یک فروشنده و چند خریدار
بازار سمت خرید *(buy-side)*: یک خریدار و چند فروشنده

پارامترهای حراج

سمت بازار: دو–طرفه

AUCTION PARAMETERS

پارامترهای حراج *Auction Parameters*						
تعداد اقلام *Items*	پرداختی *Winner Pay*	تعداد واحد *Units*	پیشنهاد *Bidding*	نوع پیشنهاد *Bids*	**سمت بازار** ***Market Side***	تعداد بعد *Dimensions*
تک–قلمی *Single-Item*	نخستین قیمت *First-Price*	تک–واحدی *Single-Unit*	یک‌ضرب *One-Shot*	فریاد علنی *Open Cry*	یک‌طرفه *Single-Sided*	تک–بعدی *1-Dimensional*
چند–قلمی *Multi-Item*	قیمت چندم *Kth-Price*	چند–واحدی *Multi-Unit*	صعودی *Ascending*	پاکت مخفی *Sealed Bid*	**دوطرفه** ***Two-Sided***	چند–بعدی *N-Dimensional*
			نزولی *Descending*			

دو–طرفه *Two-Sided*	هر یک از حالت‌های: **یک** خریدار و **چند** فروشنده / **یک** فروشنده و **چند** خریدار

بازار سمت فروش *(sell-side)*: یک فروشنده و چند خریدار
بازار سمت خرید *(buy-side)*: یک خریدار و چند فروشنده

پارامترهای حراج

نوع پیشنهاد: فریاد علنی

AUCTION PARAMETERS

پارامترهای حراج *Auction Parameters*						
تعداد اقلام *Items*	پرداختی *Winner Pay*	تعداد واحد *Units*	پیشنهاد *Bidding*	**نوع پیشنهاد** ***Bids***	سمت بازار *Market Side*	تعداد بعد *Dimensions*
تک–قلمی *Single-Item*	نخستین قیمت *First-Price*	تک–واحدی *Single-Unit*	یک‌ضرب *One-Shot*	**فریاد علنی** ***Open Cry***	یک‌طرفه *Single-Sided*	تک–بعدی *1-Dimensional*
چند–قلمی *Multi-Item*	قیمت چندم *Kth-Price*	چند–واحدی *Multi-Unit*	صعودی *Ascending*	پاکت مخفی *Sealed Bid*	دوطرفه *Two-Sided*	چند–بعدی *N-Dimensional*
			نزولی *Descending*			

فریاد علنی ***Open Cry***	معامله‌گران پیشنهادهای خود را به همه‌ی معامله‌گران اعلام می‌کنند.

بدیهی است که در این نوع حراج پشنهاد دهنده *(bidder)* اطلاعات بیشتری دارد.

پارامترهای حراج

نوع پیشنهاد: پاکت مخفی

AUCTION PARAMETERS

پارامترهای حراج *Auction Parameters*						
تعداد اقلام *Items*	پرداختی *Winner Pay*	تعداد واحد *Units*	پیشنهاد *Bidding*	**نوع پیشنهاد** ***Bids***	سمت بازار *Market Side*	تعداد بعد *Dimensions*
تک–قلمی *Single-Item*	نخستین قیمت *First-Price*	تک–واحدی *Single-Unit*	یک‌ضرب *One-Shot*	فریاد علنی *Open Cry*	یک‌طرفه *Single-Sided*	تک–بعدی *1-Dimensional*
چند–قلمی *Multi-Item*	قیمت چندم *Kth-Price*	چند–واحدی *Multi-Unit*	صعودی *Ascending*	**پاکت مخفی** ***Sealed Bid***	دوطرفه *Two-Sided*	چند–بعدی *N-Dimensional*
			نزولی *Descending*			

پاکت مخفی
Sealed Bid

پیشنهاد دهندگان، پیشنهاد خود را در پاکت در بسته ارائه می‌دهند.
فقط برگزارکننده‌ی حراج، پیشنهادها را می‌بیند.

در برخی انواع حراج‌ها، برای دسترسی به اطلاعات مخفی می‌توان پول پرداخت کرد!!

پارامترهای حراج

پیشنهاد: یک ضرب

AUCTION PARAMETERS

پارامترهای حراج *Auction Parameters*						
تعداد اقلام *Items*	پرداختی *Winner Pay*	تعداد واحد *Units*	**پیشنهاد** ***Bidding***	نوع پیشنهاد *Bids*	سمت بازار *Market Side*	تعداد بعد *Dimensions*
تک–قلمی *Single-Item*	نخستین قیمت *First-Price*	تک–واحدی *Single-Unit*	**یک ضرب** ***One-Shot***	فریاد علنی *Open Cry*	یک‌طرفه *Single-Sided*	تک–بعدی *1-Dimensional*
چند–قلمی *Multi-Item*	قیمت چندم *Kth-Price*	چند–واحدی *Multi-Unit*	صعودی *Ascending*	پاکت مخفی *Sealed Bid*	دوطرفه *Two-Sided*	چند–بعدی *N-Dimensional*
			نزولی *Descending*			

یک ضرب ***One-Shot***	قیمت پیشنهادی در یک مرحله اعلام می‌شود.

پارامترهای حراج

پیشنهاد: صعودی

AUCTION PARAMETERS

پارامترهای حراج *Auction Parameters*						
تعداد اقلام *Items*	پرداختی *Winner Pay*	تعداد واحد *Units*	**پیشنهاد** ***Bidding***	نوع پیشنهاد *Bids*	سمت بازار *Market Side*	تعداد بعد *Dimensions*
تک–قلمی *Single-Item*	نخستین قیمت *First-Price*	تک–واحدی *Single-Unit*	یک ضرب *One-Shot*	فریاد علنی *Open Cry*	یک‌طرفه *Single-Sided*	تک–بعدی *1-Dimensional*
چند–قلمی *Multi-Item*	قیمت چندم *Kth-Price*	چند–واحدی *Multi-Unit*	**صعودی** ***Ascending***	پاکت مخفی *Sealed Bid*	دوطرفه *Two-Sided*	چند–بعدی *N-Dimensional*
			نزولی *Descending*			

صعودی *Ascending*	قیمت پیشنهادی هر مرحله بالاتر می‌رود.

پارامترهای حراج

پیشنهاد: نزولی

AUCTION PARAMETERS

پارامترهای حراج *Auction Parameters*						
تعداد اقلام *Items*	پرداختی *Winner Pay*	تعداد واحد *Units*	**پیشنهاد** ***Bidding***	نوع پیشنهاد *Bids*	سمت بازار *Market Side*	تعداد بعد *Dimensions*
تک–قلمی *Single-Item*	نخستین قیمت *First-Price*	تک–واحدی *Single-Unit*	یک ضرب *One-Shot*	فریاد علنی *Open Cry*	یک‌طرفه *Single-Sided*	تک–بعدی *1-Dimensional*
چند–قلمی *Multi-Item*	قیمت چندم *Kth-Price*	چند–واحدی *Multi-Unit*	صعودی *Ascending*	پاکت مخفی *Sealed Bid*	دوطرفه *Two-Sided*	چند–بعدی *N-Dimensional*
			نزولی ***Descending***			

نزولی ***Descending***	قیمت پیشنهادی هر مرحله پایین‌تر می‌رود.

پارامترهای حراج

تعداد واحد: تک–واحدی

AUCTION PARAMETERS

پارامترهای حراج *Auction Parameters*						
تعداد اقلام *Items*	پرداختی *Winner Pay*	**تعداد واحد** *Units*	پیشنهاد *Bidding*	نوع پیشنهاد *Bids*	سمت بازار *Market Side*	تعداد بعد *Dimensions*
تک–قلمی *Single-Item*	نخستین قیمت *First-Price*	**تک–واحدی** *Single-Unit*	یک‌ضرب *One-Shot*	فریاد علنی *Open Cry*	یک‌طرفه *Single-Sided*	تک–بعدی *1-Dimensional*
چند–قلمی *Multi-Item*	قیمت چندم *Kth-Price*	چند–واحدی *Multi-Unit*	صعودی *Ascending*	پاکت مخفی *Sealed Bid*	دوطرفه *Two-Sided*	چند–بعدی *N-Dimensional*
			نزولی *Descending*			

تک–واحدی
Single-Unit

برای چه تعداد واحد از یک کالا می‌توانیم پیشنهاد بدهیم؟
یک واحد در هر مرتبه (اگر تعداد واحد بیشتری برای فروش وجود داشت، می‌توان تکرار کرد)

منظور از «واحد»: واحد تقسیم‌ناپذیر از کالایی که می‌خواهیم بخریم.
(مثلاً یک ماهی / یا جعبه‌ی ماهی)

پارامترهای حراج

تعداد واحد: چند–واحدی

AUCTION PARAMETERS

پارامترهای حراج *Auction Parameters*						
تعداد اقلام *Items*	پرداختی *Winner Pay*	**تعداد واحد** ***Units***	پیشنهاد *Bidding*	نوع پیشنهاد *Bids*	سمت بازار *Market Side*	تعداد بعد *Dimensions*
تک–قلمی *Single-Item*	نخستین قیمت *First-Price*	تک–واحدی *Single-Unit*	یک‌ضرب *One-Shot*	فریاد علنی *Open Cry*	یک‌طرفه *Single-Sided*	تک–بعدی *1-Dimensional*
چند–قلمی *Multi-Item*	قیمت چندم *Kth-Price*	**چند–واحدی** ***Multi-Unit***	صعودی *Ascending*	پاکت مخفی *Sealed Bid*	دوطرفه *Two-Sided*	چند–بعدی *N-Dimensional*
			نزولی *Descending*			

چند–واحدی ***Multi-Unit***	برای چه تعداد واحد از یک کالا می‌توانیم پیشنهاد بدهیم؟ **هر چند واحد در هر مرتبه** (هم قیمت و هم تعداد را می‌توان پیشنهاد داد)

پارامترهای حراج

پرداختی: نخستین–قیمت

AUCTION PARAMETERS

پارامترهای حراج *Auction Parameters*						
تعداد اقلام *Items*	**پرداختی** *Winner Pay*	تعداد واحد *Units*	پیشنهاد *Bidding*	نوع پیشنهاد *Bids*	سمت بازار *Market Side*	تعداد بعد *Dimensions*
تک–قلمی *Single-Item*	**نخستین قیمت** *First-Price*	تک–واحدی *Single-Unit*	یک‌ضرب *One-Shot*	فریاد علنی *Open Cry*	یک‌طرفه *Single-Sided*	تک–بعدی *1-Dimensional*
چند–قلمی *Multi-Item*	قیمت چندم *Kth-Price*	چند–واحدی *Multi-Unit*	صعودی *Ascending*	پاکت مخفی *Sealed Bid*	دوطرفه *Two-Sided*	چند–بعدی *N-Dimensional*
			نزولی *Descending*			

نخستین قیمت
First-Price

برنده باید چه قیمتی را بپردازد؟
بیشترین قیمت پیشنهادی

پارامترهای حراج

پرداختی: قیمت چندم

AUCTION PARAMETERS

پارامترهای حراج *Auction Parameters*						
تعداد اقلام *Items*	**پرداختی** ***Winner Pay***	تعداد واحد *Units*	پیشنهاد *Bidding*	نوع پیشنهاد *Bids*	سمت بازار *Market Side*	تعداد بعد *Dimensions*
تک–قلمی *Single-Item*	نخستین قیمت *First-Price*	تک–واحدی *Single-Unit*	یک‌ضرب *One-Shot*	فریاد علنی *Open Cry*	یک‌طرفه *Single-Sided*	تک–بعدی *1-Dimensional*
چند–قلمی *Multi-Item*	**قیمت چندم** ***Kth-Price***	چند–واحدی *Multi-Unit*	صعودی *Ascending*	پاکت مخفی *Sealed Bid*	دوطرفه *Two-Sided*	چند–بعدی *N-Dimensional*
			نزولی *Descending*			

قیمت چندم
Kth-Price

برنده باید چه قیمتی را بپردازد؟
***K*امین** قیمت پیشنهادی

پارامترهای حراج

تعداد اقلام : تک–قلمی

AUCTION PARAMETERS

پارامترهای حراج *Auction Parameters*						
تعداد اقلام *Items*	پرداختی *Winner Pay*	تعداد واحد *Units*	پیشنهاد *Bidding*	نوع پیشنهاد *Bids*	سمت بازار *Market Side*	تعداد بعد *Dimensions*
تک–قلمی *Single-Item*	نخستین قیمت *First-Price*	تک–واحدی *Single-Unit*	یک‌ضرب *One-Shot*	فریاد علنی *Open Cry*	یک‌طرفه *Single-Sided*	تک–بعدی *1-Dimensional*
چند–قلمی *Multi-Item*	قیمت چندم *Kth-Price*	چند–واحدی *Multi-Unit*	صعودی *Ascending*	پاکت مخفی *Sealed Bid*	دوطرفه *Two-Sided*	چند–بعدی *N-Dimensional*
			نزولی *Descending*			

تک–قلمی *Single-Item*	فقط یک قلم تقسیم‌ناپذیر به حراج گذاشته می‌شود.

پارامترهای حراج

تعداد اقلام: چند–قلمی

AUCTION PARAMETERS

پارامترهای حراج *Auction Parameters*						
تعداد اقلام *Items*	پرداختی *Winner Pay*	تعداد واحد *Units*	پیشنهاد *Bidding*	نوع پیشنهاد *Bids*	سمت بازار *Market Side*	تعداد بعد *Dimensions*
تک–قلمی *Single-Item*	نخستین قیمت *First-Price*	تک–واحدی *Single-Unit*	یک‌ضرب *One-Shot*	فریاد علنی *Open Cry*	یک‌طرفه *Single-Sided*	تک–بعدی *1-Dimensional*
چند–قلمی *Multi-Item*	قیمت چندم *Kth-Price*	چند–واحدی *Multi-Unit*	صعودی *Ascending*	پاکت مخفی *Sealed Bid*	دوطرفه *Two-Sided*	چند–بعدی *N-Dimensional*
			نزولی *Descending*			

چند–قلمی *Multi-Item*	پیشنهاد برای دسته‌ای از کالاها مطرح می‌شود. (ارزش‌گذاری دسته‌ها ترکیب خطی ارزش محتویات دسته‌ها نیست)

مثلاً: دو صندلی قرمز و یک نیمکت نارنجی و یک جعبه‌ی صورتی

انواع حراج استاندارد

STANDARD AUCTION TYPES

انواع حراج استاندارد
Standard Auction Types

حراج انگلیسی
English Auction

حراج هلندی
Dutch Auction

حراج نخستین قیمت پیشنهاد مخفی
First-price Sealed Bid Auction

حراج ویکری
Vickrey Auction

حراج انگلیسی

ENGLISH AUCTION

حراج انگلیسی *English Auction*	حراج‌کننده، تا وقتی که افراد پیشنهاد بالاتری را ارائه می‌دهند، قیمت کالا را بالا می‌برد.

استانداردی که در اکثر حراج‌ها به کار می‌رود.

قیمت اولیه *reservation price* است:
اگر هیچ کس مبلغ بیشتری پیشنهاد ندهد، آن‌گاه کالا با این مبلغ به حراج‌کننده تخصیص داده می‌شود.

استراتژی بهینه برای یک عامل، پیشنهاد دادن مبلغ فعلی به اضافه‌ی ε است
تا وقتی که وی به قیمت رزرو شده‌ی خود برسد.

در حراج با ارزش مشترک، یا با ارزش همبسته منجر به دشواری برای برنده می‌شود.

English Auction

- Single-dimensional
- Single-sided
- Open-cry
- Single unit
- First-price
- Single item

Around 95% of internet auctions are of this kind. The classic use is the sale of antiques and artwork.

حراج هلندی

ساعت نزولی

DUTCH AUCTION (DESCENDING CLOCK)

حراج هلندی *Dutch Auction*	حراج‌کننده به طور مداوم قیمت را پایین می‌آورد تا وقتی که یکی از خریداران بگوید «کافی است»: یعنی موافقت با خرید به این قیمت.

از یک ساعت برای نمایش قیمت استفاده می‌شود.

حراج کننده از یک **قیمت بالا** شروع می‌کند
و از پیشنهاد دهندگان می‌خواهد قیمت را پایین بیاورند.

یکی از پیشنهاد دهندگان ادعا می‌کند که کالا با قیمت فعلی قابل قبول است.

گره باز می‌شود: با شروع مجدد کاهش از قیمتی که کمی بالاتر از قیمت وقوع گره بوده است!

برنده قیمت را در زمانی که ساعت توقف می‌کند می‌پردازد.

معادل با حراج انگلیسی است

برای پیاده‌سازی *Real-time* مفید است.

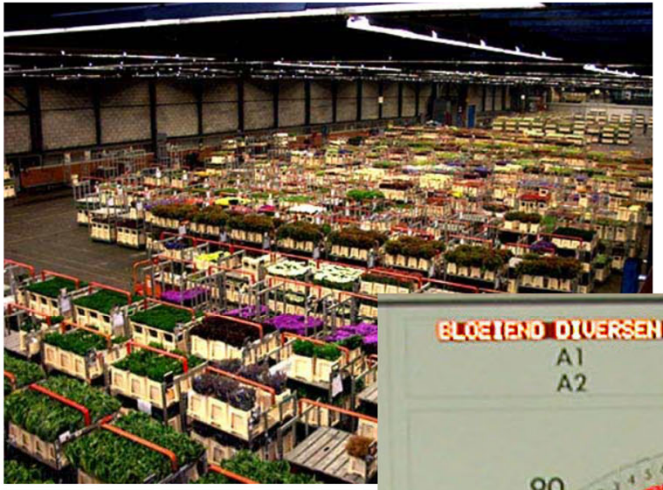
Dutch Auction

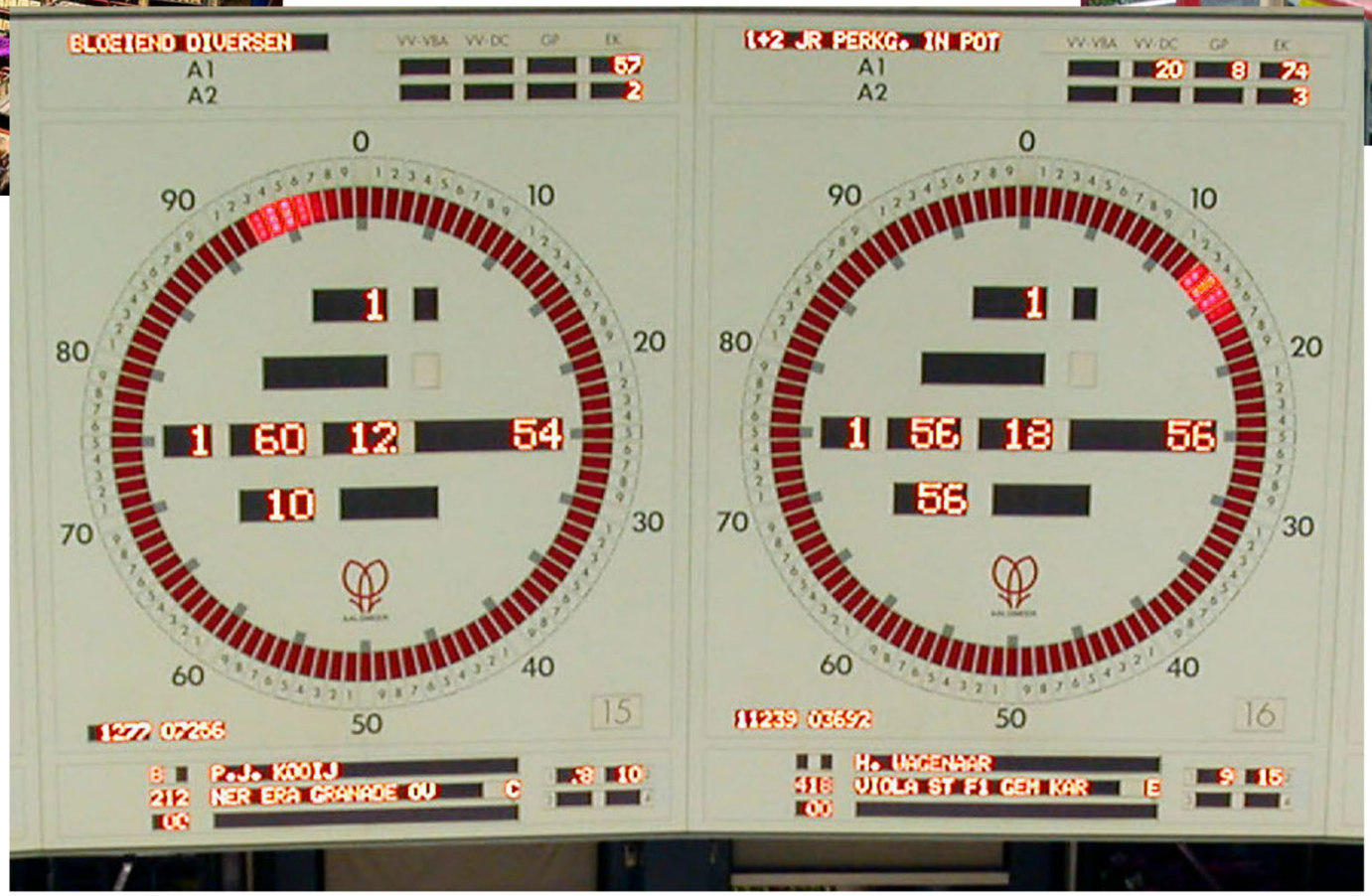
- ***Single-dimensional***
- ***Single-sided***
- ***Open-cry***
- ***Single unit***
- ***First-price***
- ***Single item***

High volume (since auction proceeds swiftly). Often used to sell perishable goods:

- *Flowers in the Netherlands (eg. Aalsmeer)*
- *Fish in Spain and Israel.*
- *Tobacco in Canada.*

Dutch Auction





حراج نخستین قیمت، پیشنهاد مخفی

First-Price Sealed-Bid Auction (FPSB)

حراج نخستین قیمت، پیشنهاد مخفی *First-Price Sealed-Bid Auction*	هر شخص یک پیشنهاد را درون یک پاکت بسته قرار می‌دهد و به حراج‌کننده می‌دهد تا وی بالاترین پیشنهاد را برگزیند.

کسی که بالاترین قیمت را پیشنهاد کرده است، می‌برد و آن مبلغ را می‌پردازد.

استراتژی غالب ندارد:
بهترین این است که کمتر از ارزش‌گذاری خود پیشنهاد داده شود.

میزان وابستگی به دیگران: منجر به جاسوسی همگانی می‌شود!

در حراج انگلیسی، در مورد اینکه یک کالا چه میزان می‌ارزد، اطلاعاتی به‌دست می‌آوریم (از طریق پیشنهاد دیگران).
اما در حراج با پیشنهاد مخفی چنین چیزی نیست: حداکثر پس از اتمام حراج، قیمت برنده معلوم می‌شود.

First-Price Sealed-Bid Auction

- ***Single-dimensional***
- ***Single-sided***
- ***Sealed-bid***
- ***Single unit***
- ***First-price***

Governments often use this mechanism to sell treasury bonds (the UK still does, although the US recently changed to Second-Price sealed Bids).

Property can also be sold this way (as in Scotland).

حراج آمستردامی

THE AMSTERDAM AUCTION

در قرون وسطی، املاک در برخی کشورها به صورت سنتی
با روش حراج آمستردامی فروخته می‌شد:

* ابتدا با **حراج انگلیسی** شروع می‌شود،
* وقتی به دو پیشنهاد کننده‌ی نهایی رسیدیم، یک مرحله **حراج هلندی** انجام می‌دهیم.
(شروع حراج هلندی با دو برابر آخرین قیمت نهایی در حراج انگلیسی)

حراج ویکری

قیمت دوم، پیشنهاد مخفی

VICKREY AUCTION: SECOND-PRICE SEALED-BID (SPSB)

حراج ویکری
Vickrey Auction

هر شخص یک پیشنهاد را درون یک پاکت بسته قرار می‌دهد و به حراج‌کننده می‌دهد. شخصی که بیشترین پیشنهاد را داده است، برنده می‌شود، ولی مبلغی معادل با دومین بیشترین پیشنهاد می‌پردازد.

کسی که بالاترین قیمت را پیشنهاد کرده است، می‌برد ولی دومین بزرگ‌ترین مبلغ را می‌پردازد.

اگر حراج «ارزش ـ خصوصی» باشد، آن‌گاه استراتژی غالب، **پیشنهاد کردن ارزش‌گذاری واقعی** است (یعنی اتخاذ تصمیم کارای سراسری):

اگر بیشتر پیشنهاد کنیم، آن‌گاه خطر بردن وجود دارد و باید بیش از ارزش‌گذاری خود پرداخت کنیم.

اگر کمتر پیشنهاد کنیم، آن‌گاه خطر از دست دادن است و مبلغ مورد نظر ما این خطر را منعکس نکرده است.

این روش توسط مردم استفاده نمی‌شود!
زیرا افراد دوست ندارند که ارزش‌گذاری واقعی خود را فاش نمایند! ولی این روش آنها را **مجبور** می‌کند.

Vickrey Auction

- ☐ **Single-dimensional**
- ☐ **Single-sided**
- ☐ **Sealed-bid**
- ☐ **Single unit**
- ☐ **First-price**

Historically used in the sale of stamps and other paper collectibles.

هم‌ارزی عایدی

REVENUE EQUIVALENCE

در کدام نوع حراج، پول بیشتری عاید حراج‌کننده می‌شود؟

انواع حراج استاندارد
Standard Auction Types

حراج انگلیسی
English Auction

حراج هلندی
Dutch Auction

حراج نخستین قیمت پیشنهاد مخفی
First-price Sealed Bid Auction

حراج ویکری
Vickrey Auction

هم‌ارزی عایدی

REVENUE EQUIVALENCE

قضیه
هم‌ارزی عایدی

Revenue Equivalence Theorem

هر چهار روش حراج استاندارد، مقادیر یکسانی برای عایدی مورد انتظار حراج کننده ایجاد می‌کنند اگر حراج «ارزش ـ خصوصی» باشد و پیشنهادکننده‌ها «ریسک ـ خنثی» باشند.

- اگر پیشنهادکننده‌ها «ریسک ـ گریز» باشند (یعنی انتظار پرداخت مبلغ بیشتری از ارزیابی شخصی‌شان را برای گرفتن کالا داشته باشند)، روش‌های هلندی و انگلیسی (با بیش از سه پیشنهادکننده) منجر به سود مورد انتظار بیشتری برای حراج‌کننده می‌شود.

- عامل‌های ریسک ـ گریزخودشان را با پیشنهاد دادن مبلغی بیش از آنچه مورد نیاز است، مطمئن می‌نمایند.

تبانی

COLLUDING

تبانی (ساخت و پاخت) پیشنهاد کننده‌ها بر هر چهار روش حراج تاثیر می‌گذارد.

در همه‌ی روش‌ها، پیشنهاد کننده‌ها می‌توانند با هم تبانی کنند تا قیمت را پایین نگه دارند.

حراج‌های **انگلیسی** و **ویکری**، خود به خود ایجاد توافق در تبانی می‌کنند.
(زیرا هیچ عاملی با شکستن این توافق چیزی به دست نمی‌آورد.)

حراج‌کننده‌های دروغ‌گو

LYING AUCTIONEER

حراج‌کننده‌ی دروغ‌گو در روش حراج ویکری،
می‌تواند با مشاهده‌ی دومین قیمت، پول بیشتری به دست آورد.

این دلیل دیگری است که این روش توسط افراد استفاده نمی‌شود.

حراج‌کننده‌ی دروغ‌گو در روش حراج انگلیسی،
می‌تواند *shill*ها را قرار دهد تا قیمت پیشنهادی را بالا ببرد.

*shill*یک خریدارنماست که در جهت فریب دادن سایر خریدارها اقدام می‌کند.

حراج‌های ترکیبیاتی

COMBINATORIAL AUCTIONS

حراج ترکیبیاتی
Combinatorial Auction

حراجی که در آن عامل‌ها می‌تواند برای **دسته‌ای از کالاها** پیشنهاد بدهند.

مجموعه‌ای از m **کالا** که برای فروش به حراج گذاشته می‌شوند:

$$\mathcal{Z} = \{Z_1, Z_2, \ldots, Z_m\}$$

مجموعه‌ای از n **عامل**:

$$Ag = \{1, 2, \ldots, n\}$$

تابع ارزش‌گذاری (برای هر دسته از کالاها) برای عامل i

$$v_i : 2^{\mathcal{Z}} \rightarrow \mathbb{R}$$

ترجیحات عامل i از طریق تابع ارزش‌گذاری بیان می‌شود:
برای هر دسته کالای ممکن، $v_i(Z)$ بیان می‌کند که Z چه‌قدر برای i بها دارد.

حراج‌های ترکیبیاتی

تابع ارزش‌گذاری

COMBINATORIAL AUCTIONS

تابع ارزش‌گذاری
Valuation Function

ترجیحات عامل i از طریق تابع ارزش‌گذاری بیان می‌شود:
برای هر دسته کالای ممکن، $v_i(Z)$ بیان می‌کند که Z چه‌قدر برای i بها دارد.

تابع ارزش‌گذاری برای عامل i **نرمال‌شده** است، اگر

$$v_i(\varnothing) = 0$$

خاصیت ***free disposal*** برای یک تابع ارزش‌گذاری وجود دارد، اگر

$$Z_1 \subseteq Z_2 \quad \Rightarrow \quad v_i(Z_1) \leq v_i(Z_2)$$

یعنی: بها برای یک عامل با بیشتر داشتن، کم نمی‌شود.

حراج‌های ترکیبیاتی

تخصیص

COMBINATORIAL AUCTIONS: ALLOCATION

تخصیص
Allocation

یک تخصیص، لیستی از مجموعه‌های

$$Z_1, Z_2, \ldots, Z_n$$

است که هر یک از آنها به یک عامل i نسبت داده شده است، با شرط اینکه:

$$\forall i \; Z_i \subseteq \mathcal{Z}$$

$$\forall i, j \in Ag \; , i \neq j \quad Z_i \bigcap Z_j = \varnothing$$

یعنی: هیچ کالایی به بیش از یک عامل تخصیص داده نمی‌شود.

مجموعه‌ی همه‌ی تخصیص‌های $\mathcal{Z}$ به عامل‌های Ag: $alloc(\mathcal{Z}, Ag)$

حراج ترکیبیاتی

تعیین برنده

WINNER DETERMINATION

تعیین برنده‌ی حراج

مسئله‌ی پایه، رام‌نشدنی است!

اما برای حل مسئله روی‌کردهایی وجود دارد:

نگاه نکردن به بدترین حالت

روی‌کردهای بهینه‌ای را می‌توان تعریف کرد
که در بسیاری از موارد خوب کار می‌کند،
مانند:

جستجوی شاخه و کران
Branch and Bound Search (BBS)

برنامه‌ریزی صحیح
Integer Programming

صرف‌نظر کردن از بهینگی

می‌توان از روی‌کردهای نزدیک به بهینه
استفاده کرد که کارآمدی خوبی دارند:
مانند:

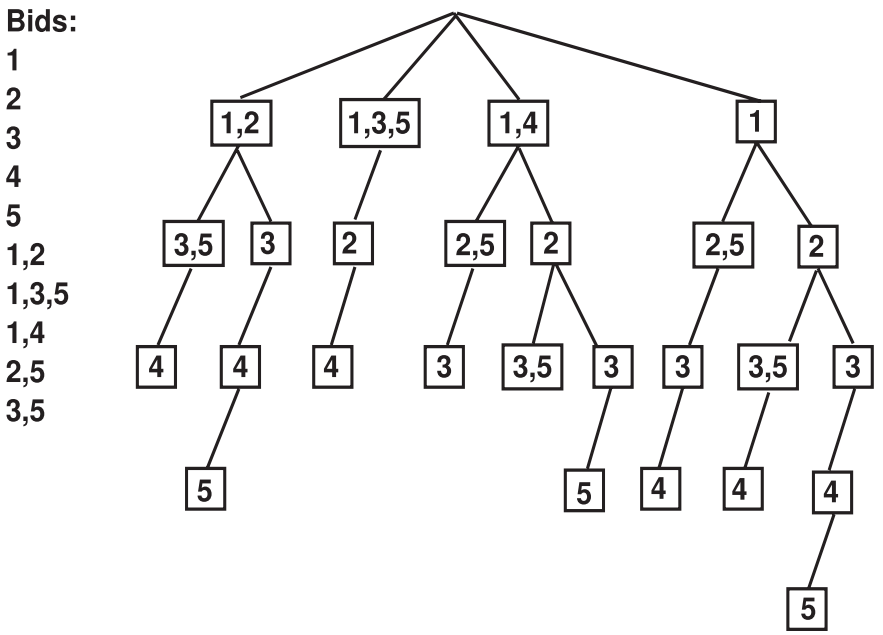
روش‌های هیوریتسیک
Heuristics

الگوریتم‌های تقریبی
Approximation Algorithms

حراج ترکیبیاتی

تعیین برنده: روش شاخه و کران

WINNER DETERMINATION: BRANCH AND BOUND SEARCH



*** درخت جستجو:**

- کالاها را شماره‌گذاری می‌کنیم.
- تمام پیشنهادهای شامل کالای ۱، فرزند ریشه خواهند بود.
- سایر پیشنهادها به ترتیب شماره‌ی کالا در سطوح بعدی ظاهر می‌شوند.
- در مسیر ریشه تا هر برگ، هر کالا دقیقاً یک بار دیده می‌شود.
- هر مسیر ریشه تا برگ، یک افراز مجموعه کالاها را نشان می‌دهد.

- درخت جستجو را به‌صورت **عمق–اول** پیمایش می‌کنیم.
- گره‌ی دارای بیشترین سود تاکنون را N^* نامگذاری می‌کنیم.
- اگر به یک گره‌ی N رسیدیم که $g(N) + h(N) \leq g(N^*)$ آن گره و سایر فرزندانش از درخت جستجو هرس می‌شود.

$g(N)$ سود پیشنهادهای انتخاب شده از ریشه تا گره‌ی N

$h(N)$ برآورد حداکثر سود اضافی از طریق ادامه دادن از گره‌ی N

(h تخمینی است اما نباید هرگز از سود واقعی زیربرآورد *understimate* کند: هر چه دقیق‌تر بهتر!)

حراج ترکیبیاتی

تعیین برنده: روش شاخه و کران: تابع هیوریستیک کران بالا

WINNER DETERMINATION: BRANCH AND BOUND SEARCH

$h(N)$ برآورد حداکثر سود اضافی از طریق ادامه دادن از گره‌ی N

(h تخمینی است اما نباید هرگز از سود واقعی زیربرآورد *understimate* کند: هر چه دقیق‌تر بهتر!)

برای هر کالای g، حداکثر نقش‌آفرینی *(maximum contribution)* به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$c(g) = \max\left\{\frac{p}{|\ B\ |} : (B,p) \in \text{Bids and } g \in B\right\}$$

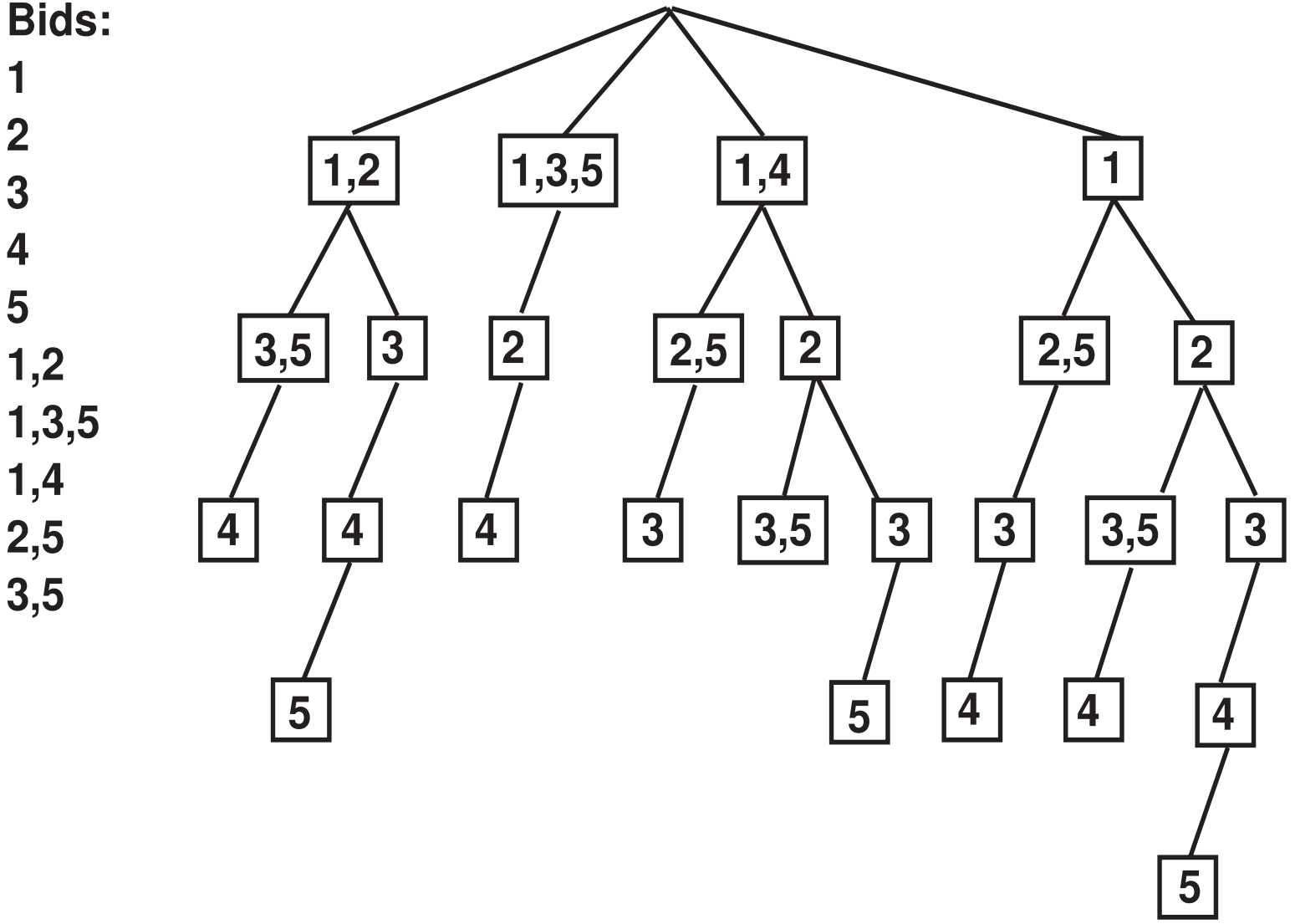
در این صورت تابع هیوریستیک کران بالا به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$h(N) = \sum_{g \text{ has not been seen from root to } N} c(g)$$

حراج ترکیبیاتی

تعیین برنده: روش شاخه و کران: درخت جستجو: مثال

WINNER DETERMINATION: BRANCH AND BOUND SEARCH



Computational Model of Combinatorial Auctions

A collection of m items

Buyers (bidders)

S ⊆ M :: m = |M|

A Seller

- Agent-1
- Agent-2
- ……
- Agent-i
- ……
- Agent-n

NP!

$\max_{W \in A}(\sum_{S \in W} b^*(S))$

$b_i(S) > 0$

W is a partition of M.
A is the set of exhaustive partitions on M.

$b_i(S)$ = 0 means the bidder i does not bid on S.

P!

$b^*(S) = \max_{i \in \text{bidders}} b_i(S)$

b(S) = 0 means no any buyer bid on S.*

Objectives:

Maximize sellers' revenue

ماکزیمم‌سازی رفاه اجتماعی

MAXIMIZATION OF SOCIAL WELFARE

در طراحی حراج باید بگوییم که **تخصیص** چگونه تعیین می‌شود.

یکی از راه‌ها: **ماکزیمم‌سازی رفاه اجتماعی** است
(مجموع سود همه‌ی عامل‌ها ماکزیمم شود.)

رفاه اجتماعی
Social Welfare

$$sw(Z_1, \ldots, Z_n, v_1, \ldots, v_n) = \sum_{i=1}^{n} v_i(Z_i)$$

حراج ترکیبیاتی

تعریف برمبنای ماکزیمم‌سازی رفاه اجتماعی

COMBINATORIAL AUCTIONS

مجموعه‌ای از m **کالا** که برای فروش به حراج گذاشته می‌شوند:

$$\mathcal{Z} = \{Z_1, Z_2, \ldots, Z_m\}$$

مجموعه‌ای از n **عامل**:

$$Ag = \{1, 2, \ldots, n\}$$

تابع ارزش‌گذاری (برای هر دسته از کالاها) برای عامل i

$$v_i : 2^{\mathcal{Z}} \rightarrow \mathbb{R}$$

هدف یافتن تخصیص

$$(Z_1^*, Z_2^*, \ldots, Z_n^*)$$

است که رفاه اجتماعی (sw) را ماکزیمم می‌کند:

$$(Z_1^*, Z_2^*, \ldots, Z_n^*) = \arg \max_{\substack{(Z_1, Z_2, \ldots, Z_n) \\ \in alloc(\mathcal{Z}, Ag)}} sw(Z_1, Z_2, \ldots, Z_n, v_1, v_2, \ldots, v_n)$$

حراج ترکیبیاتی

تعیین برنده

WINNER DETERMINATION

برای **تعیین برنده**ی حراج

می‌توانیم از هر عامل i بخواهیم که ارزش‌گذاری خود را اعلام کند:

$$\hat{v}_i$$

سپس، همه‌ی تخصیص‌های ممکن را بررسی کنیم و بهترین را انتخاب کنیم.

مشکل: تعداد تخصیص‌های ممکن بدتر از نمایی است:

(برابر با تعداد افرازهای یک مجموعه‌ی m عضوی)

$$\sum_{i=1}^{m} S(m,i)$$

$$S(m,k) = \frac{1}{k!}\sum_{j=0}^{k-1}(-1)^j \binom{j}{k}(k-j)^m$$

$S(m,k)$ عدد استرلینگ نوع دوم (تعداد افرازها از مرتبه‌ی بدتر از نمایی: $\Omega(m^{\frac{m}{2}})$ و $O(m^m)$)

زبان‌های پیشنهاددهی

BIDDING LANGUAGES

(با هدف کاهش اندازه‌ی تابع ارزش‌گذاری)

به‌جای اینکه هر عامل یک ارزش‌گذاری جامع ارائه بدهد،
این امکان را فراهم می‌کنیم که ارزش یک پیشنهاد از روی پیشنهادهای ریز ایجاد شود.

پیشنهاد اتمیک
Atomic Bid

$$(Z, p) \quad Z \subseteq \mathcal{Z}$$

ارضا شدن پیشنهاد
Bid Satisfaction

یک دسته کالا یک پیشنهاد را **ارضا** می‌کند،
اگر شامل حداقل یکی از موارد داخل پیشنهاد باشد:

$$Z' \text{ satisfies } (Z, p) \text{ if } Z \subseteq Z'$$

یک پیشنهاد اتمیک، ارزش‌گذاری زیر را تعریف می‌کند:

$$v_\beta(Z') = \begin{cases} p & \text{if } Z' \text{ satisties } (Z, p) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

برای ارزش‌گذاری پیشنهادهای پیچیده‌تر، به **زبان پیشنهاددهی** نیاز داریم.

زبان‌های پیشنهاددهی

زبان *XOR*

BIDDING LANGUAGES

پیشنهادهای اتمیک می‌توانند ترکیب شوند تا پیشنهادهای پیچیده‌تر را بسازند:
یک روش ترکیب پیشنهادهاست. *XOR*

در زبان *XOR* هر پیشنهاد ترکیبی به صورت یای انحصاری پیشنهادهای اتمیک ساخته می‌شود:

$$\beta = (Z_1, p_1) \oplus (Z_2, p_2) \oplus \ldots \oplus (Z_k, p_k)$$

XOR bids are fully expressive

هر **تابع ارزش‌گذاری** بر روی مجموعه‌ای از کالاها را می‌توان با زبان *XOR* بازنمایی کرد.

* البته ممکن است به تعداد نمایی پیشنهاد اتمیک نیاز داشته باشیم!
* با این وجود، ارزش‌گذاری یک دسته می‌تواند در زمان چندجمله‌ای محاسبه شود.

زبان‌های پیشنهاددهی

زبان *XOR*

BIDDING LANGUAGES

$$\beta = (Z_1, p_1) \oplus (Z_2, p_2) \oplus \ldots \oplus (Z_k, p_k)$$

ارزش‌گذاری برای پیشنهاد ترکیبی β به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$v_\beta(Z') = \begin{cases} 0 & \text{if } Z' \text{ does not satisty any } (Z_i, p_i) \\ \max\{p_i : Z_i \subseteq Z'\} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$B_i = (\{a, b\}, 3)\ XOR\ (\{c, d\}, 5)$$

"...I would pay 3 for a bundle that contains a and b but not c and d. I will pay 5 for a bundle that contains c and d but not a and b, and I will pay 5 for a bundle that contains a, b, c and d..."

From this we can construct a valuation (opposite)

$$\begin{aligned} v_{\beta_1}(\{a\}) &= 0 \\ v_{\beta_1}(\{b\}) &= 0 \\ v_{\beta_1}(\{a, b\}) &= 3 \\ v_{\beta_1}(\{c, d\}) &= 5 \\ v_{\beta_1}(\{a, b, c, d\}) &= 5 \end{aligned}$$

مکانیسم ویکری–کلارک–گراوز برای تعیین برنده

VCG (Vickrey/Clarke/Groves) Mechanism

در حالت کلی نمی‌دانیم که ارزش‌گذاری عامل‌ها واقعی است یا خیر.

$$\hat{v}_i = v_i \ ?$$

چگونه می‌توانیم عامل‌ها را مجبور کنیم که ارزش‌گذاری صحیح خود را ارائه بدهند؟

راه‌حل:

استفاده از مکانیسم *VCG*

***VCG Mechanism* is *incentive compatible*:**

استراتژی غالب در این مکانیسم، گفتن واقعیت است!

مکانیسم ویکری–کلارک–گراوز برای تعیین برنده

نمادگذاری لازم

VCG (Vickrey/Clarke/Groves) Mechanism

تابع ارزش‌گذاری بی‌تفاوت
Indifferent Valuation Function

$$v^0(Z) = 0 \quad \text{for all } Z$$

تابع رفاه اجتماعی بدون عامل *i*
Social Welfare Function Without i

$$sw_{-i}(Z_1, \ldots, Z_n, v_1, \ldots, v_n) = \sum_{j \in Ag, j \neq i} v_j(Z_j)$$

مکانیسم ویکری–کلارک–گراوز برای تعیین برنده

مکانیسم

VCG (Vickrey/Clarke/Groves) Mechanism

۱) همه‌ی عامل‌ها **ارزش‌گذاری** خود را به‌صورت همزمان اعلام می‌کنند: $\hat{v}_i$

۲) مکانیسم، **تخصیص بهینه** برای ماکزیمم رفاه اجتماعی را مشخص می‌کند.

$$(Z_1^*, Z_2^*, \ldots, Z_n^*) = \arg \max_{\substack{(Z_1, Z_2, \ldots, Z_n) \\ \in alloc(\mathcal{Z}, Ag)}} sw(Z_1, Z_2, \ldots, Z_n, \hat{v}_1, \hat{v}_2, \ldots, \hat{v}_i, \ldots, \hat{v}_n)$$

۳) مکانیسم، برای هر عامل i مورد زیر را هم محاسبه می‌کند:

$$(Z_1', Z_2', \ldots, Z_n') = \arg \max_{\substack{(Z_1, Z_2, \ldots, Z_n) \\ \in alloc(\mathcal{Z}, Ag)}} sw(Z_1, Z_2, \ldots, Z_n, \hat{v}_1, \hat{v}_2, \ldots, v^0, \ldots, \hat{v}_n)$$

۴) هر عامل i باید مبلغ p_i را بپردازد:

$$\begin{aligned} p_i &= sw_{-i}(Z_1', Z_2', \ldots, Z_n', \hat{v}_1, \hat{v}_2, \ldots, v^0, \ldots, \hat{v}_n) \\ &\quad - sw_{-i}(Z_1^*, Z_2^*, \ldots, Z_n^*, \hat{v}_1, \hat{v}_2, \ldots, \hat{v}_i, \ldots, \hat{v}_n) \end{aligned}$$

مکانیسم ویکری–کلارک–گراوز برای تعیین برنده

ویژگی‌ها

VCG (Vickrey/Clarke/Groves) Mechanism

مکانیسم ویکری–کلارک–گراوز برای تعیین برنده

هر عامل هزینه‌ای را برای شرکت در حراج به دیگر عامل‌ها می‌پردازد.

VCG Mechanism ***is incentive compatible:***

استراتژی غالب در این مکانیسم، گفتن واقعیت است!

اگر بیش از ارزش‌گذاری خود پیشنهاد بدهیم و ببریم،
باید آنچه آن کالا برای دیگران بها داشته است را برگردانیم، **که بیشتر از بهای آن برای ماست.**

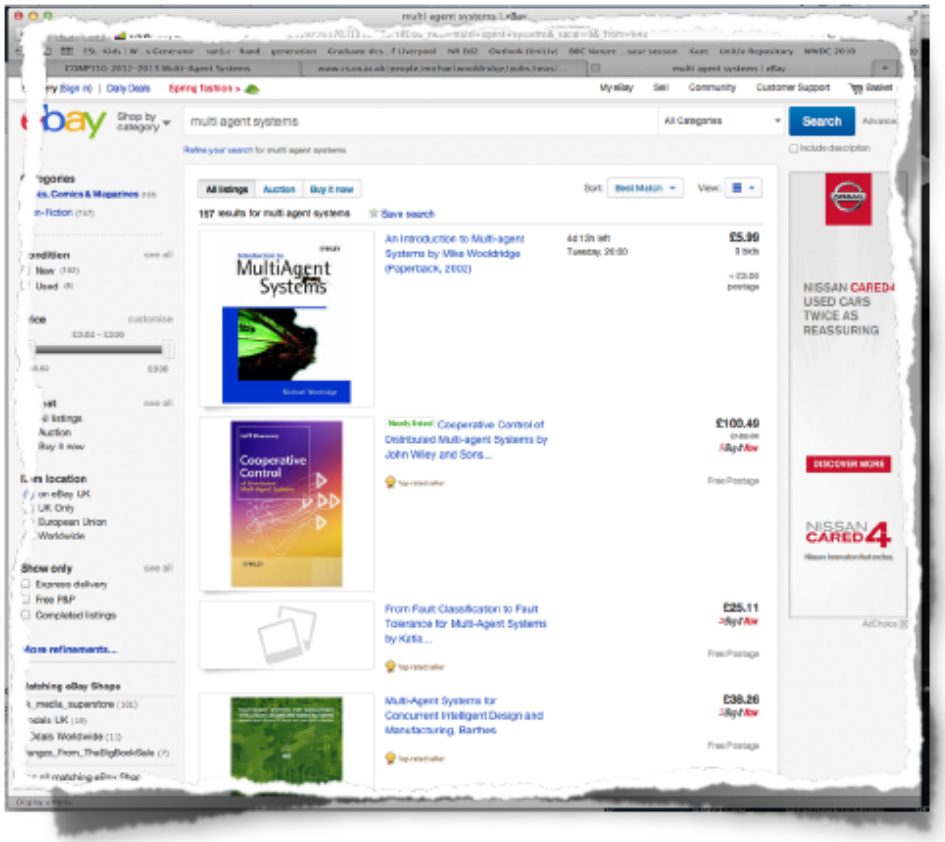
اگر کمتر از ارزش‌گذاری خود پیشنهاد بدهیم، شانس بردن کاهش می‌یابد،
اما حتی اگر ببریم، هنوز باید آنچه هر کس دیگری فکر می‌کرده است آن کالا بها دارد را بپردازیم؛
پس **با کاهش شانس خود در بردن، پولی ذخیره نمی‌کنیم!**

⇓

به یک استراتژی غالب برای هر عامل می‌رسیم که ماکزیمم شدن رفاه اجتماعی را تضمین می‌کند.

eBay

- eBay runs a variation of the English auction.
  - Vulnerable to ***sniping***.
- To counter this, eBay offers an automated bidding agent.
  - Reduces the auction to a FPSB.
- Many companies offer sniping services.
- BTW, there is an easy fix to sniping, but eBay chose not to use it.
  - Activity rule



Adword auctions

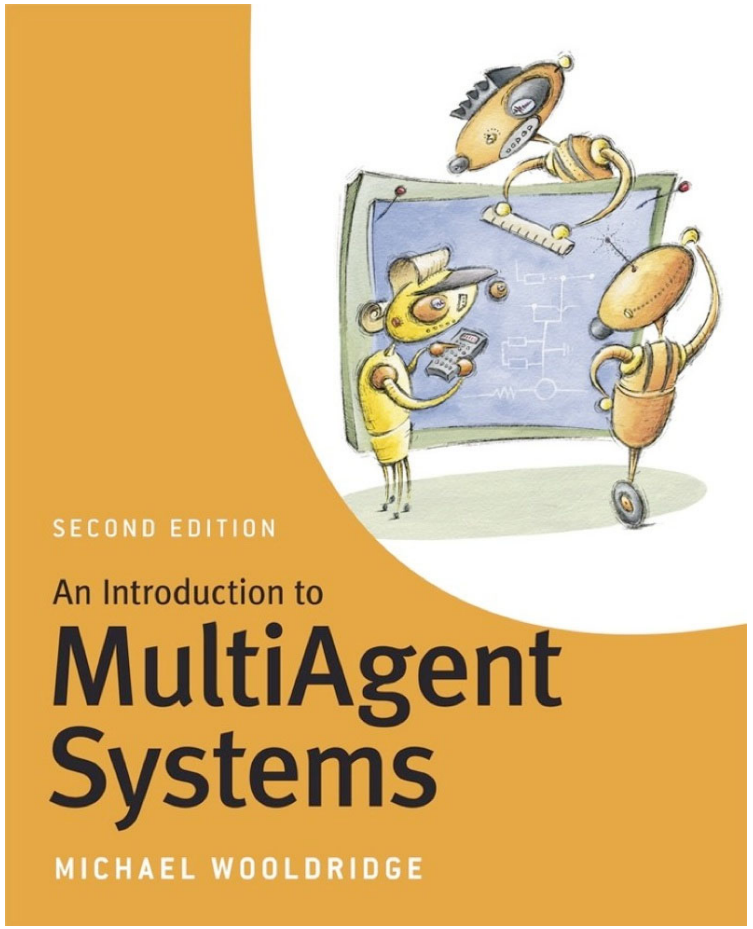
- To decide which ads get shown in which position for which searches, an adword auction is run.
  - This is run in real time.
    - (Though clearly bids are placed beforehand.)
- Auction is a variation on the Vickrey auction.
  - 85% of Google's revenue ($4.1 billion) in 2005 came from these auctions.
- Very active area of research.
  - Not clear what the best auction mechanism is for this application.
  - Not clear what the best way to bid is.

سیستم‌های چندعاملی

حراج

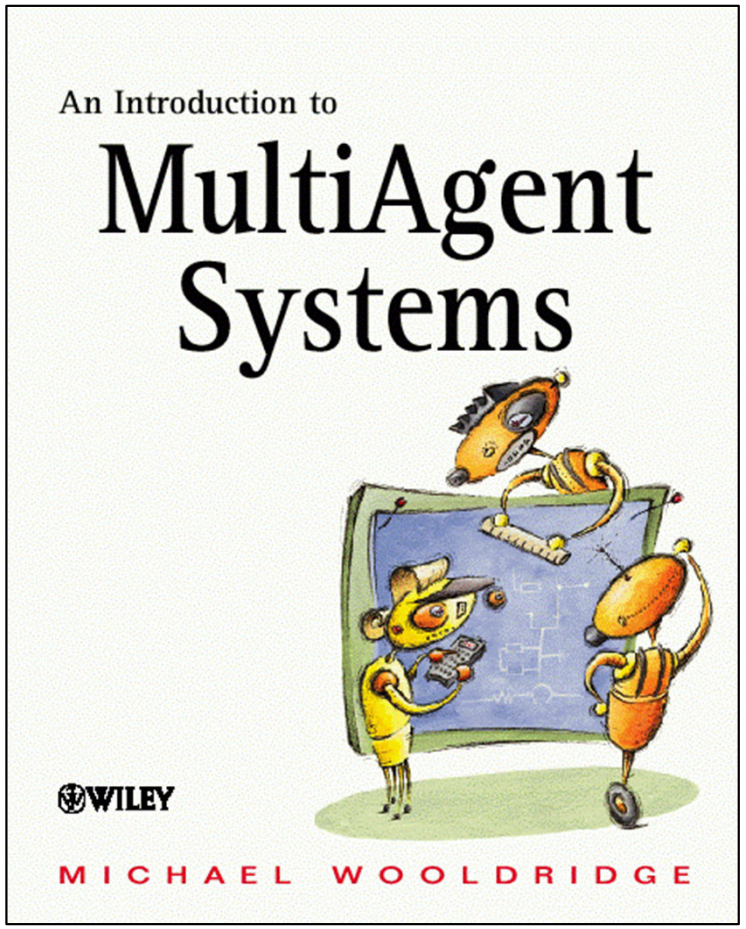
منابع

منبع اصلی



Michael Wooldridge,
An Introduction to Multiagent Systems,
Second Edition,
John Wiley & Sons, 2009.
Chapter 14

منبع اصلی



Michael Wooldridge,
An Introduction to Multiagent Systems,
John Wiley & Sons, 2002.
Chapter 7

7

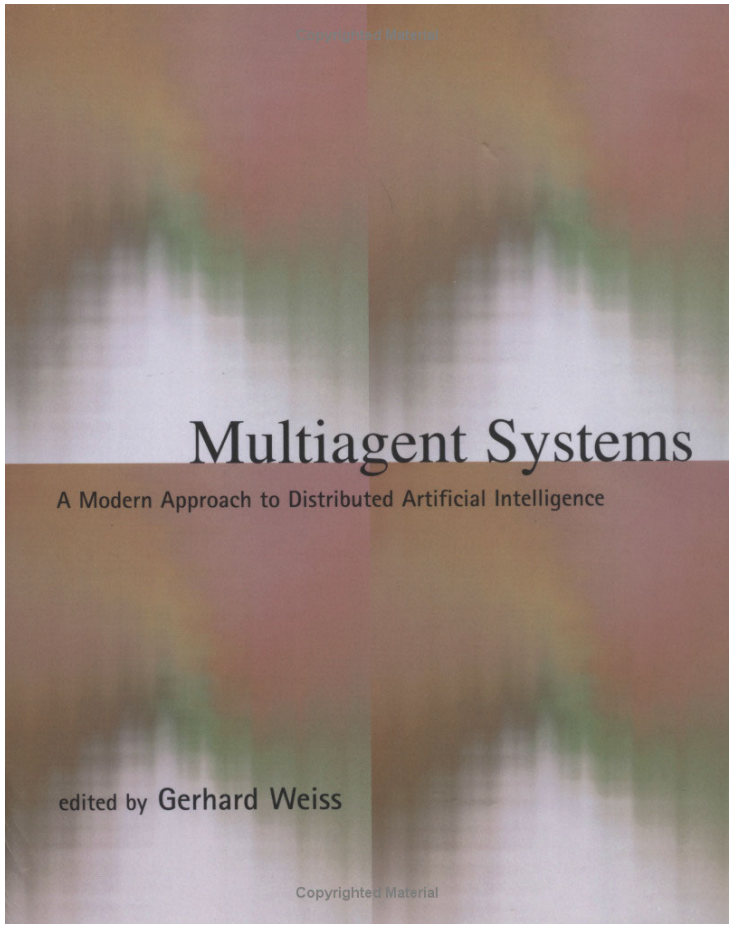
Reaching Agreements

An obvious problem, related to the issue of cooperation, is that of *reaching agreements* in a society of self-interested agents. In the multiagent world that we all inhabit every day, we are regularly required to interact with other individuals with whom we may well not share common goals. In the most extreme scenario, as discussed in the preceding chapter, we may find ourselves in a zero-sum encounter. In such an encounter, the only way we can profit is at the expense of our opponents. In general, however, most scenarios in which we find ourselves are not so extreme – in most realistic scenarios, there is some potential for agents to reach *mutually beneficial agreement* on matters of common interest. The ability to reach agreements (without a third party dictating terms!) is a fundamental capability of intelligent autonomous agents – without this capability, we would surely find it impossible to function in society. The capabilities of *negotiation* and *argumentation* are central to the ability of an agent to reach agreement.

Negotiation scenarios do not occur in a vacuum: they will be governed by a particular *mechanism*, or *protocol*. The protocol defines the 'rules of encounter' between agents (Rosenschein and Zlotkin, 1994). It is possible to design protocols so that any particular negotiation history has certain desirable properties – this is *mechanism design*, and is discussed in more detail below.

A second issue is, given a particular protocol, how can a particular *strategy* be designed that individual agents can use while negotiating – an agent will aim to use a strategy that maximizes its own individual welfare. A key issue here is that, since we are interested in actually *building* agents that will be capable of

منبع دوم



Gerhard Weiss (ed.),
Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence,
MIT Press, 1999.
Chapter 5 (5.4)

5 Distributed Rational Decision Making

Tuomas W. Sandholm

5.1 Introduction

Automated negotiation systems with self-interested agents are becoming increasingly important. One reason for this is the *technology push* of a growing standardized communication infrastructure—Internet, WWW, NII, EDI, KQML, FIPA, Concordia, Voyager, Odyssey, Telescript, Java, *etc.*—over which separately designed agents belonging to different organizations can interact in an open environment in real-time and safely carry out transactions. The second reason is strong *application pull* for computer support for negotiation at the operative decision making level. For example, we are witnessing the advent of small transaction electronic commerce on the Internet for purchasing goods, information, and communication bandwidth [31]. There is also an industrial trend toward virtual enterprises: dynamic alliances of small, agile enterprises which together can take advantage of economies of scale when available (e.g., respond to more diverse orders than individual agents can), but do not suffer from diseconomies of scale.

Multiagent technology facilitates such negotiation at the operative decision making level. This automation can save labor time of human negotiators, but in addition, other savings are possible because computational agents can be more effective at finding beneficial short-term contracts than humans are in strategically and combinatorially complex settings.

This chapter discusses multiagent negotiation in situations where agents may have different goals, and each agent is trying to maximize its own good without concern for the global good. Such self-interest naturally prevails in negotiations among independent businesses or individuals. In building computer support for negotiation in such settings, the issue of self-interest has to be dealt with. In *cooperative distributed problem solving* [12, 9], the system designer imposes an interaction *protocol*[1] and a *strategy* (a mapping from state history to action; a

1. Here a protocol does not mean a low level communication protocol, but a negotiation protocol which determines the possible actions that agents can take at different points of the interaction. The *sealed-bid first-price auction* is an example protocol where each bidder is free to submit one bid for the item, which is awarded to the highest bidder at the price of his bid.

ELSEVIER

Artificial Intelligence 135 (2002) 1–54

Artificial Intelligence

www.elsevier.com/locate/artint

Algorithm for optimal winner determination in combinatorial auctions ☆

Tuomas Sandholm

Computer Science Department, Carnegie Mellon University, 5000 Forbes Avenue, Pittsburgh, PA 15213, USA

Received 9 March 1999; received in revised form 18 September 2000

Abstract

Combinatorial auctions, that is, auctions where bidders can bid on combinations of items, tend to lead to more efficient allocations than traditional auction mechanisms in multi-item auctions where the agents' valuations of the items are not additive. However, determining the winners so as to maximize revenue is $\mathcal{NP}$-complete. First, we analyze existing approaches for tackling this problem: exhaustive enumeration, dynamic programming, and restricting the allowable combinations. Second, we study the possibility of approximate winner determination, proving inapproximability in the general case, and discussing approximation algorithms for special cases. We then present our search algorithm for optimal winner determination. Experiments are shown on several bid distributions which we introduce. The algorithm allows combinatorial auctions to scale up to significantly larger numbers of items and bids than prior approaches to optimal winner determination by capitalizing on the fact that the space of bids is sparsely populated in practice. The algorithm does this by provably sufficient selective generation of children in the search tree, by using a secondary search for fast child generation, by using heuristics that are admissible and optimized for speed, and by preprocessing the search space in four ways. Incremental winner determination and quote computation techniques are presented.

We show that basic combinatorial auctions only allow bidders to express complementarity of items. We then introduce two fully expressive bidding languages, called XOR-bids and OR-of-XORs, with which bidders can express general preferences (both complementarity and substitutability). The latter language is more concise. We show how these languages enable the use of the Vickrey–Clarke–Groves mechanism to construct a combinatorial auction where each bidder's dominant strategy is to

☆ This material was first presented as an invited talk at the 1st International Conference on Information and Computation Economies, Charleston, SC, on 10/28/1998. A technical report version of this paper was circulated 1/28/1999 (Washington University in St. Louis, Department of Computer Science WUCS-99-01). A conference version of this paper appeared in the International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), Stockholm, Sweden, July 31–August 6, 1999, pp. 542–547. A brief nontechnical overview of different approaches to winner determination appeared in Decision Support Systems 28 (2000) 165–176.

E-mail address: sandholm@cs.cmu.edu (T. Sandholm).

0004-3702/01/$ – see front matter © 2001 Elsevier Science B.V. All rights reserved.
PII: S0004-3702(01)00159-X