



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Кафедра Вычислительной техники

Магистерская программа

«Семантические технологии и многоагентные системы»

Дисциплина: «Интеллектуальные агенты и многоагентные системы»

Лекция 7

Модели переговоров и сотрудничества в МАС

Содержание лекции

1. Типы отношений агентов в МАС

- когерентность целей;
- кооперация (сотрудничество);
- нейтральность;
- конкуренция;
- антагонизм;

2. Формирование коалиций

3. Аукционы

4. Голосования

5. Методы координации

- Частичное глобальное планирование;
- Общие намерения;
- Взаимное моделирование;
- Использование норм и социальных законов;

Взаимодействия агентов в МАС

*Многоагентная система (МАС) – совокупность интеллектуальных агентов, **взаимодействующих** в процессе своей целенаправленной деятельности*

- **Типы взаимодействий** агентов в МАС – ключевой классификационный признак МАС
- В общем случае (с точки зрения физики!) взаимодействия между агентами (как и между любыми другими системами), могут быть классифицированы на:
 - *информационные;*
 - *энергетические;*
 - *вещественные;*
- В МАС важную роль играют информационные взаимодействия агентов

Типы отношений агентов в МАС

- С учетом специфики ИА, как *целенаправленных систем*, в качестве основы для классификации МАС целесообразно рассматривать ***типы отношений*** между агентами в МАС
- Типы отношений:
 - *полная согласованность* (когерентность) целей;
 - *кооперация* (сотрудничество) на основе взаимной выгоды;
 - *нейтральность*;
 - *конкуренция*;
 - *антагонизм*.

Отношения агентов в МАС: *Когерентность целей*

- *Когерентность* (полная согласованность) *целей* агентов:
 - МАС изначально создается для решения общей задачи (или класса задач);
 - Агенты не имеют собственных целей и намерений, отличных от целей МАС в целом;
 - Состав и организационная структура МАС (т. е. распределение ролей между агентами), как правило, *определяются на этапе проектирования*
 - в ряде случаев при необходимости могут меняться в процессе функционирования;
- Способ *координации* работ между агентами определяет *организационная структура* МАС

Отношения агентов в МАС: *Кооперация & Нейтральность*

- *Отношение кооперации (сотрудничества):*
 - агенты изначально имеют собственные цели, однако в процессе функционирования приходят к заключению о целесообразности сотрудничества
 - целесообразность может быть обусловлена *невозможностью* для агента *самостоятельно решить* требуемую задачу, либо сотрудничество позволяет *повысить эффективность* ее решения
 - установлению сотрудничества, как правило, предшествует этап переговоров, завершающийся заключением контракта между агентами
 - при ведении переговоров используются различные протоколы
- *Отношение нейтральности :*
 - агенты никак не влияют на реализацию целенаправленного поведения данного агента (не мешают и не помогают) и, следовательно, не представляют для него интереса

Отношения агентов в МАС: *Конкуренция*

- *Отношение конкуренции:*

- нескольким агентам в процессе деятельности требуется один и тот же ресурс
- изначально цели агентов могут не противоречить друг другу
- под ресурсом понимается любая сущность (физическая или виртуальная), необходимая агенту для реализации его планов.
 - в задаче управления воздушным движением ресурсом являются воздушные коридоры для пролета самолетов

- Проблемные области (ПО) с отношением конкуренции:

- области, конкурентные по своей сути;
 - МАС для реализации аукционов в системах электронной коммерции
- области с ситуативно возникающим отношением конкуренции
 - управление воздушным движением – возникновение конфликтных ситуаций из-за воздушных коридоров в общем случае не является обязательным
 - агенты должны обладать способностью динамически выявлять конфликтные ситуации и разрешать их путем координации своих действий.

- В обоих случаях в качестве *механизма разрешения конфликтных ситуаций*, как правило, используются *переговоры*.

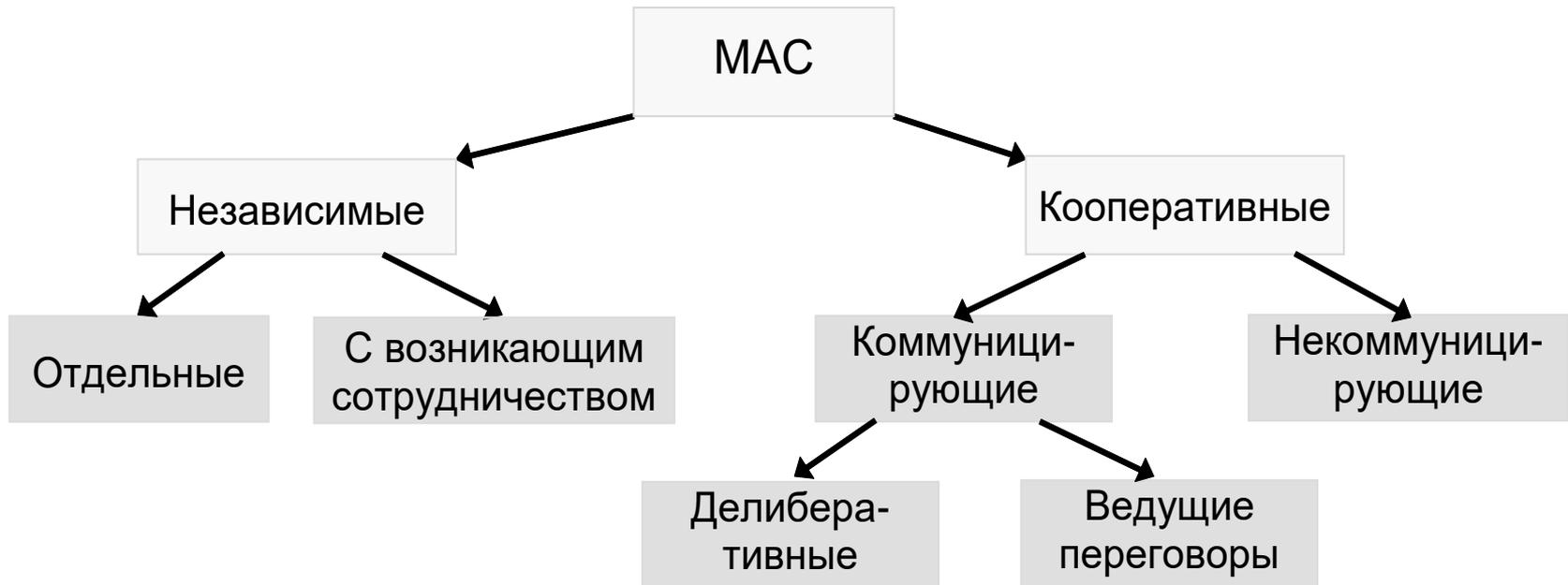
Отношения агентов в МАС. *Антагонизм*

- *Отношение антагонизма*
 - имеют место в системах, в которых агенты изначально создаются для противодействия другим агентам:
 - системы военного назначения: коллективы боевых роботов, беспилотные летательные аппараты и т. п.
 - игровые системы с противоположными интересами
 - среда виртуального футбола Robocup
 - ключевая проблема – *распознавание планов* противоборствующей стороны *по наблюдаемому поведению* в условиях *неполноты информации, высокодинамичной среды и временных ограничений*, организация соответствующих скоординированных командных действий
- Рассмотренная *классификация* типов отношений в известной степени *условна*, т. к. на практике часто возможны комбинации различных типов отношений

Кооперация (сотрудничество) в МАС

1. Что такое сотрудничество? Каковы его пределы? Как оно соотносится с понятиями коммуникации, координации и переговоров?
2. Можно ли идентифицировать общую типологию сотрудничества? Если да, какова она может быть? Каковы основные характеристики?
3. Какие виды сотрудничества наиболее вероятны в реальных МАС? Как на стратегии сотрудничества влияют степень автономности, эгоистичность интересов или благожелательность? Каковы последствия сотрудничества? Всегда ли оно полезно, или существуют связанные с ним издержки, которые приводящие к неблагоприятным последствиям?
4. Должно ли сотрудничества быть мотивировано *априорно* или *может возникать и развиваться* через сложные социальные отношения? Имеет ли смысл говорить о реактивном сотрудничестве и если да, то как?
5. Является ли сотрудничество ментальным или поведенческим понятием? Может ли быть описано только путем анализа ментального состояния агентов (например, их убеждений, желаний и т.д.) или оно может быть охарактеризовано только путем изучения их действий (то есть независимо от их внутреннего состояния) или требует комбинации этих двух подходов?
6. Каковы основные механизмы и структуры, приводящие к сотрудничеству и позволяющие ему быть устойчивым? До каких пределов эти механизмы и структуры необходимы? Можно ли определить необходимое множество условий для сотрудничества?

Классификация сотрудничества в МАС



Независимые – цели и задачи агентов никак не связаны

Интенциональная коммуникация может иметь по крайней мере 2 формы:.

- В *делиберативных системах* агенты *совместно планируют свои действия*, таким образом, чтобы сотрудничать друг с другом
 - такое сотрудничество может (но не обязательно!) подразумевает координацию
- *МАС с переговорами* – похожи на делиберативные, но предполагают некоторый элемент конкуренции

Модели взаимодействия агентов в МАС

- Почему и каким образом агенты работают вместе?
- Поскольку агенты автономны, они должны принимать решение *в реальном времени и быть способны к динамической координации.*
- В общем случае они должны *совместно*:
 - использовать *информацию*;
 - решать *задачи*;
- Если агенты проектируются различными разработчиками, они могут *не иметь общих целей*
- Различают:
 - *благожелательных* (benevolent) агентов
 - *корыстных* (self-interested) агентов.

Благожелательные (Benevolent) агенты

- Если разработчик МАС «владеет» всей системой, он может проектировать агентов так, чтобы они, когда это требуется, помогали друг другу
- В этом случае, принимается **допущение о благожелательности** агентов:
 - собственный максимальный интерес совпадает с максимальным интересом других агентов
- Решение задач в системах *благожелательных агентов* – рассматривается как *кооперативное распределенное решение задач* - КРРЗ (*cooperative distributed problem solving, CDPS*)
- Благожелательность *существенно упрощает задачу* проектирования систем

Корыстные (Self-interested) агенты

- Если агенты представляют интересы отдельных индивидуумов или (в более общем случае) организаций *допущение о благожелательности агентов в общем случае не может быть принято*
- Предполагается, что агенты будут **действовать в собственных интересах**, возможно, в ущерб интересам других (self-interested)
 - *потенциальный источник конфликтов*
- Задача проектирования существенно усложняется
- Может требоваться стратегическое поведение
 - теория игр

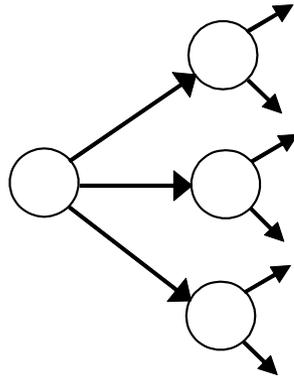
Согласованность и координация

- Критерии оценки агентных систем
- *Согласованность*
 - насколько хорошо МАС ведет себя как единое целое по некоторой шкале оценки (Bond&Gasser)
- Согласованность можно *измерить* в терминах качества решения, эффективности использования ресурсов, концептуальной ясности и т. д.
- *Координация*
 - степень... в которой агенты... могут избегать «посторонних» действий [таких как]... синхронизация и согласование их действий (Bond&Gasser).
- Если система полностью скоординирована, агенты не мешают друг другу, в физическом или метафорическом смысле

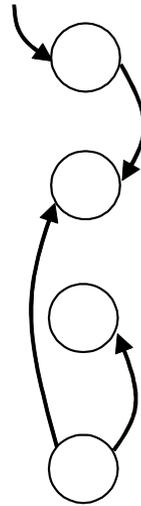
Распределение задач и результатов

- Как группа агентов работает вместе, чтобы решить проблему?
- Выделяют три стадии:
 - Декомпозиция задачи
 - Решение подзадач
 - Синтез ответа (общего решения)

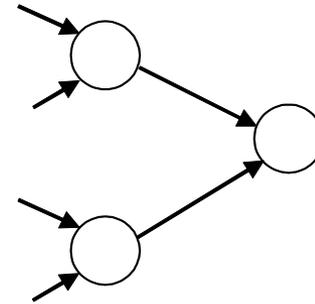
Стадии кооперативного решения задач



Декомпозиция
задачи на подзадачи



Решение
подзадач



Синтез общего
решения

- **Кто выполняет декомпозицию?**
 - является ли она централизованной?
 - какие агенты обладают знаниями о структуре задачи?
 - кто будет решать подзадачи?

Решение подзадач и синтез решения

- Решение подзадач:
 - Решаются подзадачи, выделенные на предыдущем этапе
 - Агенты обычно совместно используют некоторую информацию
 - Агенты могут синхронизировать свои действия А
- Синтез решения:
 - Интегрируются решения подзадач
 - Процесс может быть иерархическим
 - различные решения на различных уровнях абстракции

Модели взаимодействия агентов в МАС

- Данная модель кооперативного решения задач предполагает два вида действий:
 - **распределение задач** – компоненты задачи распределяются по агентам;
 - как принимается решение о распределении задач по агентам?
 - **распределение результатов** – распределяется информация (частичные результаты и др.)
 - как полное решение собирается из частей?

Формирование коалиций в МАС

Формирование коалиций. Введение

- Необходимо, когда задачи более эффективно решает группа взаимодействующих агентов
 - Например. машины скорой помощи могут быстрее спасти пострадавших, если они находятся в большой группе ;
- Назначение групп задачам необходимо, когда задачи не могут быть выполнены одним агентом
 - Например, одна пожарная команда не может потушить большой пожар;
- Группа сотрудничающих агентов называется *коалицией*;
- Коалиционная структура — это разделение множества агентов на непересекающиеся коалиции;
- Агент участвует только в одной коалиции;
- Коалиция может состоять только из одного агента;
- В общем случае коалиции состоят из разнородных агентов;

Формирование коалиций. Применения

- Распределенная маршрутизация транспортных средств между компаниями по доставке с собственными задачами по доставке и транспортными средствами;
- Наблюдение за обширной территорией с помощью автономных сенсорных сетей;
- Служба спасения:
 - формирование команды для решения конкретных подзадач, например, более крупные роботы развертывают меньших роботов в ограниченном пространстве;
- Электронная коммерция:
 - покупатели могут объединяться, чтобы приобретать товары оптом и пользоваться ценовыми скидками;
- Игры со стратегией реального времени (RTS):
 - группы разнородных агентов могут совместно атаковать базы противника. Смесь агентов должна соответствовать стратегии защиты противника;

Пример: Транспортная задача

- Транспортная компания предоставляет услуги через систему автономных грузовиков, автопогрузчиков, кранов, лодок и самолетов (агентов);
- Агенты различаются своими возможностями;
- Возможны ситуации, когда агенты не могут выполнить данную транспортную задачу самостоятельно, поэтому необходимо сотрудничество;
- Агенты образуют сотрудничающие группы (коалиции) ;
- Некоторые коалиции могут быть не в состоянии выполнять некоторые задачи ;
- Некоторые задачи не могут быть выполнены, если другие задачи не были выполнены до их выполнения ;
- Среди коалиций, способных выполнить заданную задачу, эффективность и стоимость могут быть разными ;

Формальная постановка задачи

- Множество $\mathbf{A} = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ из n агентов
 - Каждый агент A_i характеризуется своими возможностями, заданными вектором вещественных неотрицательных значений $B_i = \langle b_1^i, \dots, b_r^i \rangle$
- Множество $\mathbf{T} = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ из m независимых задач
 - Каждая задача t_i связана с вектором вещественных неотрицательных возможностей $B_i = \langle b_1^i, \dots, b_r^i \rangle$
- Коалиция \mathbf{C} – группа агентов, принявших решение сотрудничать для решения задачи (одной в каждый момент времени):
 - имеет вектор возможностей B_C , являющийся суммой возможностей входящих в коалицию агентов;
 - может выполнить задачу t только если для всех $0 \leq i \leq r$, $b_i^t \leq b_i^C$;
 - характеризуется значением V коалиционной ценности – объединенной полезностью ее членов;

Групповая рациональность

- *Агенты имеют групповую рациональность:*
 - Образуют коалицию только, если при этом они *получают выгоду не менее суммы их персональных выгод* без образования коалиции;
 - При образовании коалиции они увеличивают общесистемный результат, являющийся суммой результатов коалиции;
- *Супер-аддитивная среда* – среда, в которой множество возможных коалиций удовлетворяет следующему правилу:
 - Для непересекающихся C_1 и C_2 в множестве, при их объединении $V_{new} \geq V_{C1} + V_{C2}$;
 - Таким образом, в таких средах предпочтительны большие коалиции;
 - далее допущение о *супер-аддитивности среды* не предполагается

Распределенные жадные SPP/SCP алгоритмы

(Shehory O., Kraus S. Methods for task allocation via agent coalition formation// Artificial Intelligence Journal, 1998, V. 101, N 1-2, pp. 165–200)

- Проблема назначения задач сводится к задачам:
 - *разделения множества* (Set Partitioning Problem, SPP) и
 - *покрытия множества* (set covering problems, SCP);
- Число возможных коалиций : **2^n !!! NP-полная задача**
- Используются *Алгоритмы произвольного времени* – предоставляют решение за любое выделенное время;
 - Сокращение возможно за счет ограничений на разрешенные коалиции: например, коалиции малого размера
- Два этапа алгоритма:
 - *Предварительный*: распределенно вычисляются все возможные коалиции и их начальные ценности;
 - *Основной* (итеративная распределенная жадная процедура):
 - ценности коалиций пересчитываются, т.к. для эффективного формирования коалиций требуется актуальная информация о возможных ценностях;
 - агенты выбирают предпочтительные коалиции и формируют их

Основная эвристика – использование малых коалиций

- Коммуникация и вычисления требуют много времени;
- Агенты, стремящиеся сократить затраты времени, должны стараться избегать ненужных коммуникаций и вычислений;
- *Малые коалиции более экономичны !!!*
 - Эвристика ограничивает размер коалиции числом k ;
Следовательно, количество коалиций равно $O(n^k)$
- Общая логика алгоритма:
 - Начальное коалиционное состояние состоит из n одиночных агентов, которые начинают переговоры и формируют коалиции;
 - В случае непересекающихся коалиций агенты, входящие в коалиции, выходят из процесса формирования, что снижает сложность

Предварительный этап

Каждый агент A_i реализует следующий алгоритм:

- (i) Вычислить все перестановки, включающие до k агентов, включая A_i , и поместить в набор P_i потенциальных коалиций агента A_i ;
- (ii) Пока P_i не пусто:
 - Контакттировать с агентом A_j , являющемся членом потенциальной коалиции P_i ;
 - Если это первый контакт с A_j , то получить информацию о его возможностях (т.е. V_j);
 - Приступить к вычислению ценностей подмножества S_{ij} общих потенциальных коалиций, т. е. подмножества коалиций в P_i , членами которого являются как A_i , так и A_j ;
 - Вычесть S_{ij} из P_i . Добавить S_{ij} в свой список долгосрочных обязательств L_i ;
 - Для каждого агента A_k , который связался с вами, вычесть из P_i множество S_{ki} потенциальных коалиций, для которых он обязался вычислить значения ;
 - Вычислить ценности для коалиций, которые зафиксированы в S_{ij} .
 - Если некоторые возможности неизвестны, связаться с соответствующими агентами;
 - Повторять контакт с другими агентами до тех пор, пока $P_i = \{A_i\}$, т. е. не останется больше агентов для контакта.

После этого этапа каждый агент A_i имеет список L_i потенциальных коалиций для вступления и их предварительные ценности

Основной этап 1: Перевычисление ценности коалиций

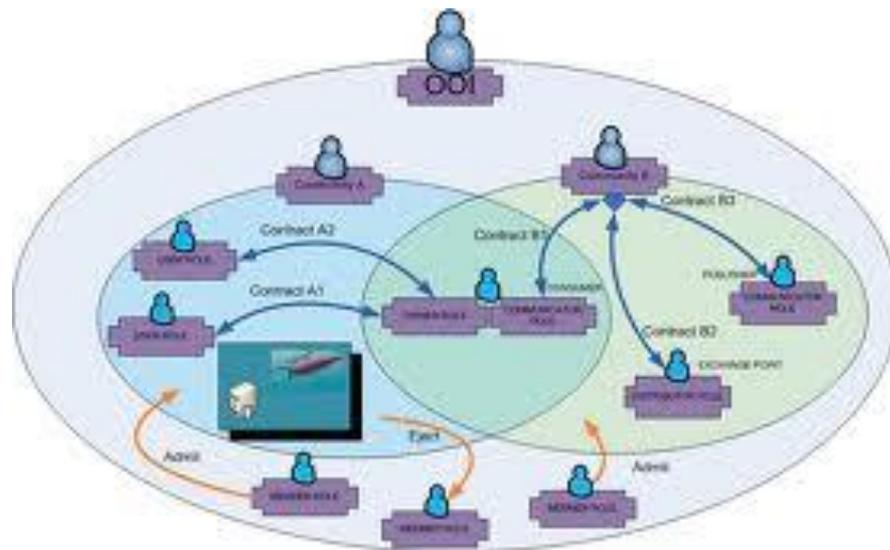
- В модели ценности коалиций постоянно меняются, поэтому расчеты следует повторять итеративно.
- Цикл для каждой коалиции \mathbf{C} в списке:
 - (i) Рассчитать вектор потенциальных возможностей коалиции \mathbf{B}_C^{pc} , суммируя неиспользованные возможности членов коалиции: $\mathbf{B}_C^{pc} = \sum_{A_i \in C} B_i$;
 - (ii) Сформировать список \mathbf{E}_C ожидаемых результатов выполнения задач в \mathbf{T} при их выполнении коалицией \mathbf{C} . Для каждой задачи $t_j \in \mathbf{T}$ выполнить:
 - Проверить, какие возможности B_j необходимы для удовлетворения t_j ;
 - Сравнить B_j с суммой неиспользованных возможностей членов коалиции \mathbf{B}_C^{pc} , найдя таким образом задачи, которые может решить коалиция \mathbf{C} ;
 - Если $\forall i, b_j^i \in B_j \leq b_{pc}^i \in \mathbf{B}_C^{pc}$ (то есть t_j может быть удовлетворено \mathbf{C}), вычислить ожидаемый чистый результат t_j относительно $|\mathbf{C}| - e_j$. Это должно быть сделано путем расчета валовой ценности, полученной от выполнения задачи. Последняя представляет собой сумму рыночных ценностей возможностей, необходимых для выполнения t_j , выраженных в B_j . Из валовой ценности необходимо вычесть сумму стоимости возможностей и затрат на внутреннюю координацию. Это будет ожидаемый чистый результат e_j задачи t_j при выполнении коалицией \mathbf{C} . Поместить e_j в \mathbf{E}_C ;
 - (iii) Среди ожидаемых результатов в списке \mathbf{E}_C выбрать максимальный. Это будет коалиционная ценность V_C ;
 - (iv) Рассчитать стоимость коалиции $\mathbf{C}_C = 1 / V_C$;

Основной этап 2: Выбор коалиций

- В результате пересчета стоимости коалиции у каждого агента A_j будет список L_j коалиций, их ценности и стоимости;
- Определим коалиционный вес: $w_j = c_j / |C_j|$;
- Каждый агента A_j будет итеративно выполнять следующие шаги:
 - (i) Найти в L_j коалицию C_j с наименьшим w_j ;
 - (ii) Объявить w_j коалиционным весом;
 - (iii) Выбрать наименьший из всех объявленных коалиционных весов. Этот w_{low} будет выбран всеми агентами. Выбрать соответствующую коалицию C_{low} и задачу t_{low} ;
 - (iv) Удалить членов выбранной коалиции C_{low} из списка кандидатов в новые коалиции;
 - (v) Если вы являетесь членом выбранной коалиции C_{low} , объединитесь с другими членам и сформируйте C_{low} ;
 - (vi) Удалите из L_j возможные коалиции, включающие удаленных агентов;
 - (vii) Удалить из T выбранную задачу t_{low} ;
 - (viii) Назначить на L_j^{cr} коалиции в L_j , для которых значения должны быть пересчитаны;

Контрактная сеть

- Самый известный протокол распределения задач - *контрактная сеть* (*contract net*)
- Включает 5 этапов :
 1. Осознание проблемы (Recognition);
 2. Объявление (Announcement);
 3. Предоставление заявки (Bidding);
 4. Присуждение (Awarding);
 5. Выполнение задачи (Expediting)



Объявление & Представление заявок

- Объявление:

- Агент, владеющий задачей, делает объявление (*announcement*) задачи, требующей решения
- Спецификация должна кодировать:
 - описание самой задачи;
 - ограничения (крайний срок, показатели качества,...);
 - информацию мета-задачи (заявки должны быть представлены к ...)
- Выполняется широковещательное объявление

- Представление заявок:

- Агенты получившие объявление решают, хотят ли они *делать заявку на задачу*
- Факторы:
 - агент должен решить, способен ли он быстро выполнить задачу;
 - агент должен определить ограничения по качеству, информацию о цене
- Если агент решил участвовать, он предоставляет заявку

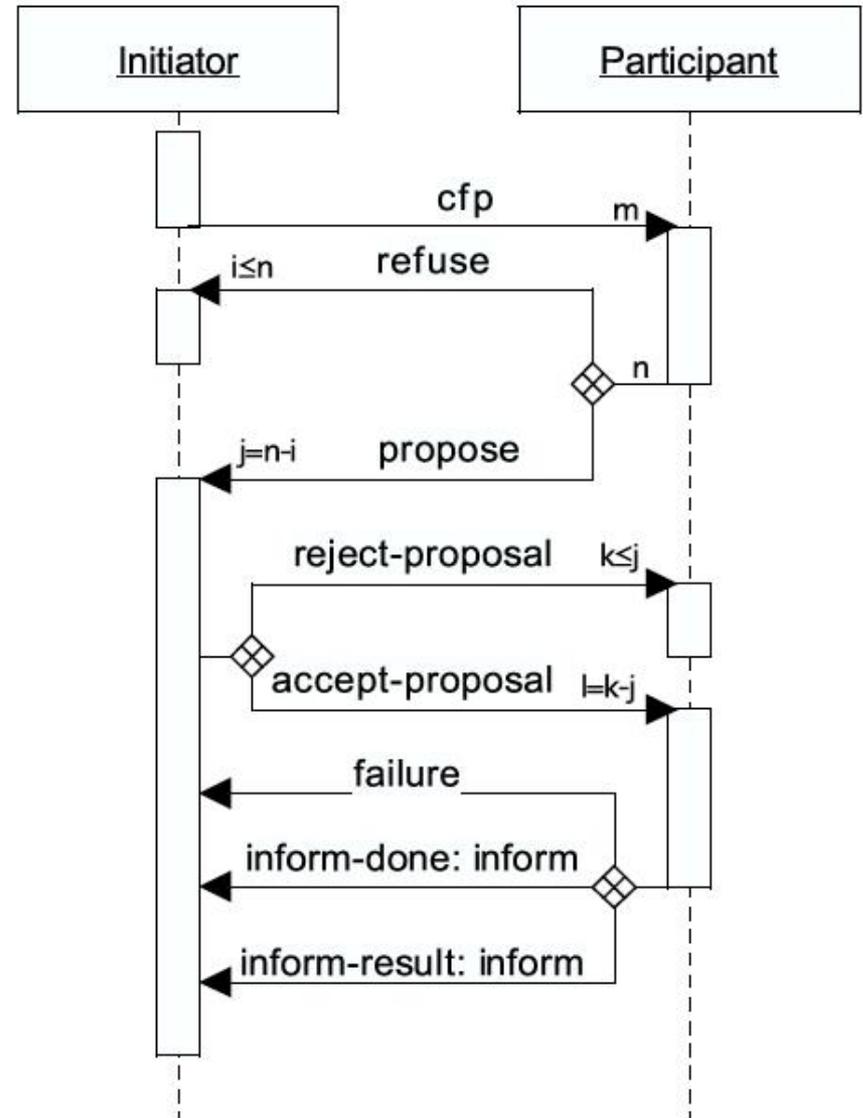
Присуждение & Выполнение

- Агент, объявляющий задачу, должен сделать выбор между заявками и решить, с кем заключать контракт
- Результат этого выбора сообщается агентам, представившим заявки
- Победивший *контрактор* выполняет задачу
- Процесс может быть иерархическим: включать генерацию дальнейших отношений менеджер-контрактор – *суб-контрактирование*
 - может включать другие контрактные сети
- Усовершенствования модели Смита:
 - добавлены специальные агенты-консультанты, оказывающие помощь координаторам при оповещении потенциальных исполнителей и обработке предложений
 - возможность для агентов-подрядчиков одновременно выполнять несколько задач (комбинированная модель Т.Сандхольма)
 - для каждого подрядчика формируется пакет текущих задач, при добавлении к пакету новой задачи учитываются не только ее характеристики, но и ранее принятые обязательства

Поддержка Протокола Контрактной Сети стандартами FIPA

Типы речевых актов:

- **cfp** (call for proposals) – используется для объявления задачи;
- **propose, refuse** – используются для выдачи предложений или отказа делать предложения;
- **accept, reject** – используются для принятия или отклонения предложения;
- **inform, failure** – используются для указания на завершение задачи (с результатом) или невозможности ее выполнения;



Вопросы реализации Контрактной Сети

- Как специфицировать *задачи*?
- Как специфицировать *качество услуги*?
- Как решить как *делать заявку*?
- Как сделать *выбор* из конкурирующих предложений?
- Как дифференцировать предложения *по множеству критериев*?

Принятие решений о подаче заявки

- Пусть в момент t у агента-контрактора i запланировано выполнить τ_i^t и имеет ресурсы e_i .
- Он получает объявление спецификации задачи ts , представляющей множество задач $\tau(ts)$.
- Стоимость выполнения τ для i составляет $C_i^t(\tau)$

- **Предельные издержки (*marginal cost*)** выполнения τ :

$$\mu_i(\tau(ts) \mid \tau_i^t) = C_i(\tau(ts) \cup \tau_i^t) - C_i(\tau_i^t)$$

это разница между выполнением того, что он согласился сделать ранее и тем на что он согласился ранее + новые задачи

- Вследствие синергетического эффекта, это часто не только:

$$C_i(\tau(ts))$$

в действительности, она может равняться 0 — дополнительные задачи могут быть сделаны бесплатно

- Пока $\mu_i(\tau(ts) \mid \tau_i^t) < e$ агент может позволить себе взяться за новую работу и для него разумно сделать заявку на нее
- В противном случае – нет

Совместное использование результатов

- При распределении результатов агенты предоставляют друг другу информацию, о том как они продвигаются в направлении решения
- Считается, что распределении результатов улучшает решение задачи за счет того, что:
 - Независимые части решения могут *перекрестно перепроверяться*;
 - Комбинирование локальных взглядов на проблему может *улучшать общее представление* о задаче;
 - Совместно используемые результаты могут *повышать точность результатов*;
 - Совместное использование результатов позволяет использовать параллельные ресурсы

Совместное использование результатов в системах Blackboard

- Первая схема кооперативного решения задач – система доски объявлений (*blackboard system*)
- Результаты распределяются через разделяемую структуру данных (ДО)
- Множество агентов (KSs/KAs) могут читать и писать на ДО.
- Агенты пишут на ДО *частичные решения*
- ДО может быть иерархически структурирована
- Если требуются взаимные исключения над ДО, возникают узкие места

Совместное использование результатов с использованием шаблонов Subscribe/Notify

- Общие шаблоны проектирования в ОО системах:
subscribe/notify. (Подписка/уведомление)
- Объект ***подписывается*** на другой объект, говоря «сообщи мне, когда случится событие *e*»
- Когда событие *e* происходит, он получает уведомление
- Т.о. информация *распределяется между объектами проактивно*
- Объектам требуется знать об интересах других объектов \Rightarrow объекты информируются когда возникает соответствующая информация

Совместное использование результатов

- Centibots – проект DARPA (SRI International, Univ. of Washington's Robotics and State Estimation Lab, Stanford University, ActivMedia Robotics)
 - \$ 2,2 млн
- Цель - координация большого числа роботов для достижения общей цели
 - Пример интеллекта роя
 - Роботы Centibots сотрудничают для построения карты пространства и поиска объектов.



Обработка несогласованности (inconsistency)

- Группа агентов могут иметь *несогласованные*:
 - Убеждения
 - Цели или намерения
- *Несогласованные убеждения* возникают из-за того, что агенты имеют различное видение мира.
 - Возможно из-за отказов сенсоров или шумов или просто потому что они не могут все видеть
- *Несогласованные цели* могут возникать из-за того, что агенты строятся различными людьми с различными целями
- 3 способа работать с несогласованностью (Durfee at al.):
 1. Не допускать ее
 - например, в контрактной сети единственным имеющим значение взглядом является взгляд агента-менеджера
 2. Разрешать ее в процессе работы (Resolve)
 - агенты обсуждают несогласованные информацию/цели до тех пор пока несогласованность не будет преодолена
 3. Строить системы, плавно деградирующие в условиях несогласованности

Координация

- Координация – управление зависимостями между агентами
- Примеры:
 - Двое хотят выйти из комнаты через одну дверь и двигаются так что подходят к двери в одно время. Что надо сделать чтобы двое смогли выйти в дверь?
 - Двое подходят к копировальному аппарату с пачкой документов. Кто будет использовать ксерокс первый?
- Известно 2 вида **позитивной** координации:
 - Запрашиваемая (явная);
 - Не запрашиваемая (неявная);
- Отношения **не запрашиваемой** координации:
 - Эквивалентность действий: двое собираются сделать что то, поняв это один может воздержаться
 - Следствие: то, что планирует сделать один будет иметь побочное влияние на достижение того, что хочет сделать другой
 - Поддержка: то, что планирую сделать я упростит вам, выполнение того, что хотите сделать вы

Социальные нормы

- Общества часто регулируются (часто неписанными) правилами поведения
- Примеры:
 - Кто входит первый в автобус?
 - По какой стороне тротуара следует идти?
- В агентной системе можно спроектировать нормы, которым должны следовать программные агенты или позволить этим нормам развиваться

Возникновение социальных законов

- Можно разрабатывать МАС, в которых *социальные законы возникают!*
- Игра Т-футболки (T-shirt game, Shoham&Tennenholtz):
 - Каждый агент имеет красную и синюю футболки.
 - Цель для всех, чтобы в конечном итоге все были одеты в один цвет.
 - В каждом раунде каждый агент встречается с одним другим агентом, и решает, стоит ли поменять футболку.
 - В каждом раунде они видят только цвет футболок в своей паре и не получают никакой другой информации.
- Какую **функцию обновления стратегии** они должны использовать?

Функции обновления стратегий

- *Простое большинство:*

Агенты выбирают футболку того цвета, который они встречали чаще

- *Простое большинство с типами:*

Выделяются агенты двух типов. При встрече с агентом того же типа, агент передает свой опыт. В противном случае они поступают по принципу простого большинства.

- *Наивысшее совокупное вознаграждение:*

Агенты могут "видеть", как часто другие агенты (некоторое подмножество всех агентов) совпали в паре. Они выбирают рубашку с наибольшим количеством совпадений.

Общие намерения

- Группа (команда) агентов может иметь *общие намерения* (помимо индивидуальных намерений каждого агента)
- Идея общей устойчивой цели (***joint persistent goal***, JPG) (Levesque)
 - Группа агенты имеет коллективное обязательство достичь некоторой цели (доставить и установить мебель)
 - Также есть мотивация «Семен хочет передвинуть диван».
- Ментальные состояния агентов соответствуют BDI модели
- Агенты *не считают*, что ϕ достигнута, но считают, что это возможно
- Агенты придерживаются цели ϕ , пока не будет достигнуто *условие окончания*.
- Условие окончания - они все убеждены, что:
 - цель ϕ достигнута *или*
 - цель ϕ невозможна *или*
 - мотивация ϕ больше не актуальна

Общие намерения - 2

- Условие прекращения достигается, когда агент понимает, что цель достигнута, не может быть достигнута и т. д.
- Агент не исключает цель сразу. Вместо этого он принимает новую цель - сделать эти новые знания взаимными убеждениями.
- Это гарантирует, что агенты останутся скоординированными
- Они не прекращают работать на цель, пока все не будут так оценивать ситуацию
- Взаимные убеждения достигаются посредством коммуникации.

Многоагентное планирование

- Другой подход к координации – *явное планирование действий всех агентов*
- Например, для построения большого STRIPS-плана для всех агентов в MAS может использоваться:
 - Централизованное планирование распределенных планов
 - один агент строит план для всех
 - Распределенное планирование
 - группа агентов строит централизованный план для другой группы агентов
 - Распределенное планирование распределенных планов
 - агенты строят планы для себя, но учитывают действия других.

Многоагентное планирование - 2

В общем случае, чем более планирование децентрализовано, тем оно труднее

- Georgeff предложил распределенную версию STRIPS
- Ввел новый список : *during* (во время)
 - Специфицирует, что должно быть истинным во время выполнения действия
- Накладывает ограничения на то, когда другие агенты могут что-то делать
- Разные агенты планируют достижение своих целей используя эти операторы и выполняя :
 - Анализ *взаимодействий*: влияют ли различные планы друг на друга?
 - Анализ *безопасности*: какие взаимодействия порождают проблемы?
 - Разрешение взаимодействий: трактовка проблемных взаимодействий как *критических секций* и введение взаимных исключений

Голосования

Голосования: Введение

- В открытых МАС агенты имеют свои **индивидуальные предпочтения**
- Согласие может быть достигнуто путем **голосования (voting)**
 - применимо как к благожелательным так и к корыстным агентам
- **Системы голосования (voting system)** формируют социальное предпочтение на основе отдельных индивидуальных предпочтений
- Как найти справедливое решение? Что означает справедливое решение?
- Возможный подход к проблеме справедливости – потребовать чтобы:
 - Если один агент вариант А предпочитает варианту В, а другой В предпочитает А, их голоса должны уравновешивать друг друга
 - Если предпочтения одного агента А,В,С, второго – В,С,А а третьего С,А,В то их голоса должны компенсироваться

Голосования: Определения

- Дано множество агентов A и множество результатов O , каждый агент $i \in A$ имеет строгое, асимметричное и транзитивное отношение предпочтения \succ_i на O
- Система голосования формирует *социальное предпочтение* \succ_* из индивидуальных предпочтений всех агентов $(\succ_i, \dots, \succ_{|A|})$
- Желательные свойства систем голосования:
 1. \succ_* существует для всех возможных входов \succ_i
 2. \succ_* должно быть **определен** для каждой пары $o, o' \in O$
 3. \succ_* должно быть **асимметрично** и **транзитивно** на O
 4. Результат должен быть **Парето эффективным**: если $\forall i \in A, o \succ_i o'$ то $o \succ_* o'$, т.е., если все агенты предпочитают пиво молоку то \succ_* также должно предпочитать пиво молоку
 5. Схема должна быть **независима** от посторонних альтернатив, т.е. при добавлении других альтернатив ранжирование должно быть таким же
 6. Отсутствие **диктаторства**: если $o \succ_i o'$ влечет $o \succ_* o'$ для всех предпочтений других агентов, т.е. нет избирателя, предпочтение которого определяло бы результат выборов независимо от предпочтений других избирателей.

Голосования: Пример

15 математиков планируют провести вечеринку и должны решить, какой напиток будут на ней (допустим один)

Существует три возможных варианта (выбора): пиво, вино и молоко

6 x Молоко \succ Вино \succ Пиво

5 x Пиво \succ Вино \succ Молоко

4 x Вино \succ Пиво \succ Молоко

Голосования: Протокол голосования по относительному большинству

- Протокол голосования по большинству – альтернативы сравниваются одновременно
- В примере :
 - Каждый голосует за свой любимый напиток
 - Побеждает напиток с большим числом голосов
 - *Пиво получает 5 голосов, вино – 4, молоко – 6* ⇒ побеждает молоко!
 - Проблемы:
 - Есть 8 агентов, которые предпочитают молоку пиво или вино, тогда как только 6 имеют противоположное предпочтение. И тем не менее молоко побеждает!
 - посторонние альтернативы могут привести к другим результатам

Парное голосование

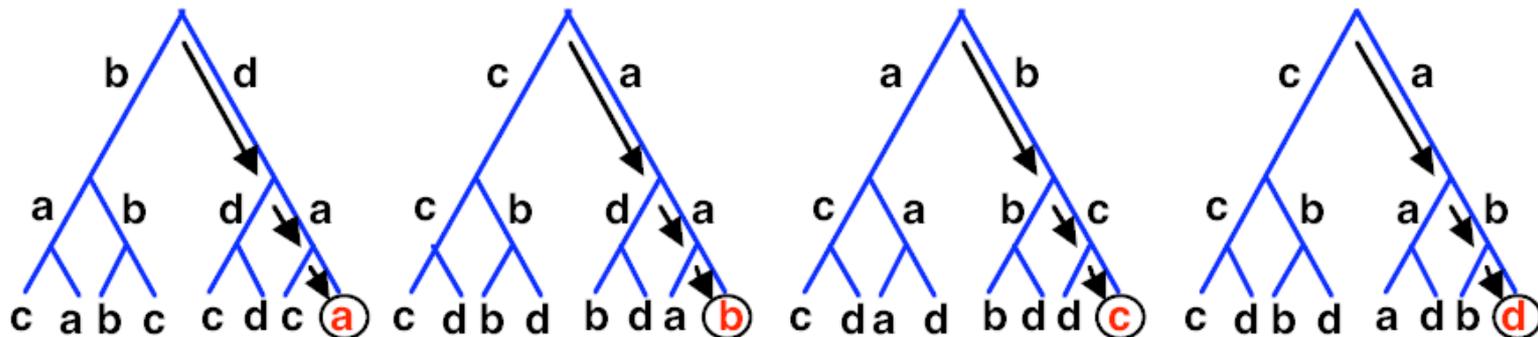
- Альтернативы голосуются *попарно*, победитель в паре остается для голосования с победителями других пар, *проигравшие исключаются*
- Пример:
 - пиво & вино: побеждает вино,
 - вино & молоко: побеждает вино
- *Проблемы:*
 - Не имеющие значения альтернативы могут приводить к разным результатам
 - Порядок рассмотрения пар может полностью изменить результат.

Например:

35% of agents have preferences $a \succ d \succ b \succ a$

33% of agents have preferences $a \succ c \succ d \succ b$

32% of agents have preferences $b \succ a \succ c \succ d$



Голосования. Протокол Борда (Borda)

- Знания всех агентов учитываются одинаково
- Пусть $|O|$ – число альтернатив
- Назначает $|O|$ *пунктов* (баллов) альтернативе всякий раз, когда она оказывается наивысшей в предпочтениях некоторого агента, $|O|-1$ – когда она вторая,
- Баллы *суммируются по всем избирателям*, альтернатива с максимальным числом баллов признается социальным выбором
- В примере:
 - Молоко: $6*3 + 5*1 + 4*1 = 27$
 - **Вино: $6*2 + 5*2 + 4*3 = 34$**
 - Пиво: $6*1 + 5*3 + 4*2 = 29$
 - **Вино побеждает!**

Голосования. Теорема Эрроу

(Парадокс Эрроу о невозможности коллективного выбора)

• Не существует механизма голосования, удовлетворяющего всем 6-ти условиям (Arrow, 1951)

– Например, в протоколе Борда нерелевантные альтернативы также могут привести к парадоксальным результатам (5 - нарушение):

Agent	Preferences
1	$a \succ b \succ c \succ d$
2	$b \succ c \succ d \succ a$
3	$c \succ d \succ a \succ b$
4	$a \succ b \succ c \succ d$
5	$b \succ c \succ d \succ a$
6	$c \succ d \succ a \succ b$
7	$a \succ b \succ c \succ d$
Borda count	c wins with 20, b has 19, a has 18, d loses with 13
Borda count with d removed	a wins with 15, b has 14, c loses with 13

Победитель оказывается проигравшим, а проигравший - победителем

Голосования: Выводы

- Методы голосования должны выбираться тщательно с учетом желательного результата
- В практике многоагентных систем часто используется протокол большинства (plurality)
- Однако следует отдавать предпочтение протоколу Борда, поскольку он может эффективно объединять множество разрозненных мнений

Аукционы

Аукционы. Введение

- С ростом Интернета аукционы стали популярны в многих e-commerce приложениях (например, eBay)
- Аукционы являются эффективным инструментом для достижения согласия в сообществе корыстных (self-interested) агентов
 - Например, распределение радиочастотного ресурса в беспроводных сетях, ссылок на спонсоров
- Аукционы могут использоваться для эффективного распределения ресурсов в децентрализованных вычислительных системах
 - не обязательно состоящих из корыстных агентов
 - часто используются для решения задач координации в МАС (в том числе множества роботов)
 - пример: командное исследование неизвестной местности

Аукционы: Введение

- Аукцион происходит между агентом, называемым аукционист, и множеством агентов, называемых претендентами
 - Цель аукциона для аукциониста продать товар одному из претендентов
 - Аукционист желает максимизировать цену, претендент – минимизировать
- *Доминирующая стратегия* – стратегия ведения торгов, которая ведет в долгосрочной перспективе к максимальной выгоде
- Плата (Payoff): оценка - предложение
- Оценка (Valuation) – деньги, которые вы готовы потратить

Аукционы: Проектирование механизма

- Проектирование механизма это *проектирование протоколов* (например, аукционов) для обеспечения многоагентного взаимодействия с *требуемыми свойствами*, такими как:
 - *Гарантированный успех*: Достигается определенное соглашение
 - *Максимизация благосостояния социума*: Соглашение максимизирует *суммарную полезность* всех участвующих агентов
 - *Парето-эффективность*: не существует другого результата, который бы мог сделать лучше хотя бы одному агенту, без того, чтобы не сделать хуже хотя бы одному агенту
 - *Индивидуальная Рациональность/Стабильность*: Следование протоколу наилучшим образом соответствует интересам всех агентов (нет стимула обманывать, отклоняться от протокола и т.д.)
 - *Простота*: Протокол делает соответствующую стратегии «очевидной» для агента. (Агент может легко определить оптимальную стратегию)
 - *Распределенность*: нет единой точки отказа; минимизация коммуникаций

Параметры аукциона – 1

- Оценка товара
 - Частная (Private) ценность: товар имеет разную ценность для разных агентов
 - Публичная (общая) ценность: товар имеет одинаковую ценность для всех участников торгов
 - Коррелированная ценность: ценность товара зависит от собственной ценности и частной ценности для других агентов (например, купить что-то с намерением продать это позже)
- Определение оплаты
 - *Первая цена*: Победитель оплачивает свою заявку
 - *Вторая цена*: Победитель оплачивает вторую по величине заявку
- Скрытые ставки
 - Открытые заявки: Все агенты знают ставки всех агентов
 - Закрытые (запечатанные) заявки: Никто из агентов не знает ставок других агентов

Параметры аукциона – 2

- Процедуры аукциона
 - Одноразовый: Только один раунд торгов
 - На повышение: аукционист начинает с минимальной цены, претенденты увеличивают ставки
 - На понижение: Аукционист начинает с цены выше стоимости товара и снижает ее в каждом раунде
 - Непрерывные: Интернет
- Аукционы бывают:
 - Стандартные
 - Один продавец – много покупателей
 - Обратные (реверсные)
 - Один покупатель – много продавцов
 - Двойные аукционы
 - Много продавцов – много покупателей
- Комбинаторные аукционы
 - Покупатели и продавцы могут иметь *комбинаторной оценок для набора товаров*

Аукционы. Английский Аукцион

- Английский аукцион – *открытый* аукцион *первой цены* с торгом на *повышение*
- Протокол:
 - Аукционер начинает с предложения товара по нижней цене;
 - Аукционер предлагает более высокие цены до тех пор пока не окажется никого, желающего платить названную цену;
 - Товар получает агент предложивший максимальную цену;
- Свойства:
 - Создает конкуренцию между претендентами (генерирует доход для продавца, когда претенденты не определились в своей оценке);
 - Доминирующая стратегия: заявлять чуть больше, чем текущая цена, снять заявку, если ставка достигла своей оценки товара;
 - Проклятие победителя;



Sotheby's (RED) Auction Sale Image - © Sotheby's Images

Аукционы. Проклятие победителя (Winner's curse)

- Термин введен в 1950-х гг.
 - Нефтяные компании подали заявку на право бурения в Мексиканском заливе
 - Проблема: торги проходили в условиях неопределенности в оценке потенциальной ценности морского нефтяного месторождения
 - ("Competitive bidding in high risk situations," by Capen, Clapp and Campbell, Journal of Petroleum Technology, 1971)
- Пример
 - Нефтяное месторождение имеет реальную цену \$10 млн.
 - Нефтяные компании могут предполагать, что его цена колеблется от \$ 5 млн до \$ 20 млн.
 - Компания, ошибочно оценившая в \$ 20 млн. и сделавшая заявку на этом уровне, выиграет аукцион, а затем обнаружит, что это не стоит, так много
- Поскольку победителем является человек, который более всего переоценил товар ⇒ "Проклятие победителя"

Голландский аукцион

- Голландские аукционы – аукционы *первой цены с открытыми заявками* на понижение
- Протокол:
 - Аукционист начинает, предлагая товар по искусственно завышенной цене
 - Аукционист снижает предлагаемую цену, пока некоторый агент не сделает заявку равную текущей цене предложения
 - Товар достается агенту, сделавшему предложение
- Свойства:
 - Товары продаются быстро (можно продать много лотов в течение одного дня)
 - Интуитивно понятная стратегия: ждать немного после того как была названа ваша истинная цена и надеяться, что никто другой не заявит раньше вас (отсутствует общая доминирующая стратегия)
 - Проклятие победителя (Winner's curse) также возможно

Аукционы первой цены с закрытыми заявками (тендеры)

- Являются одноразовыми аукционами:
- Протокол:
 - В рамках одного раунда заявители предоставляют запечатанную заявку на товар
 - Товар достается агенту, сделавшему максимальную заявку
 - Победитель оплачивает стоимость лота
- Часто используется в коммерческих аукционах, например, контракты на постройку общественных зданий и т.д.
- Проблема: разница между наивысшей и следующей за ней ценой – "деньги, выброшенные на ветер" (победитель мог бы предложить меньше)
- Интуитивная стратегия: делать ставку немного ниже своей истинной оценки (отсутствует общая доминирующая стратегия)
 - Чем больше претендентов, тем меньше должно быть отклонение!

Аукцион Викри (W.Vickrey)

- Предложен William Vickrey в 1961 г. (Нобелевский лауреат по экономике 1996 г.)
- Аукцион Викри – одноразовый аукцион *второй цены* с запечатанными заявками
- Протокол:
 - в рамках одного раунда заявители предоставляют запечатанную заявку на товар
 - товар достается агенту, сделавшему наивысшее предложение
 - победитель платит цену *второй по величине заявки*
- Доминирующая стратегия: заявлять вашу истинную цену
 - если вы заявляете больше, то рискуете заплатить намного больше (проклятие победителя)
 - если вы заявляете меньше, то снижаете свои шансы выиграть while still having to pay the same price in case you win
- Антисоциальное поведение: заявлять больше, чем ваши истинные оценки, чтобы «насолить» оппоненту (не «рационально»)
- Для закрытых аукционов, стратегически эквиваленты механизму английского аукциона

Ожидаемый доход

- Аукционисты хотят максимизировать свои доходы
 - Какой протокол аукциона дает им максимально возможную цену?
- *Нейтральные к риску* заявители:
 - Ожидаемый доход на аукциониста доказуемо идентичны во всех четырех типов аукционов (Sandholm 1999)
- *Склонные к риску* заявители (то есть заявители, предпочитающие получить товар, даже заплатив немного больше своей собственной оценки):
 - Голландские протоколы и первой цены с запечатанными предложениями приводят к более высокому ожидаемому доходу для аукциониста
 - Склонные к риску агенты могут «страховать» себя, заявляя чуть более высокие цены, чем нейтральные к риску участники
- *Склонные к риску* аукционеры лучше работают с аукционами Викри и Английским

Сговор и подлог

- *Сговор*

- Группы претендентов сотрудничают для того, чтобы обмануть
- Все четыре протокола не застрахованы от сговора
- Участники торгов могут договориться заранее, чтобы снизить ставки ниже общественно необходимой цены
 - Когда товар получен, участники торгов могут затем получить его истинную цену (выше заплаченной за него искусственно заниженной цены) и разделить прибыль между собой
 - Может быть предотвращено изменением протокола таким образом, что участники не могут идентифицировать друг друга

- *Подлог аукциониста:*

- Организация фиктивных (подставных) заявителей, искусственно повышающих цену
- В аукционе Викри: Ложная информация о второй по величине ставке
- Могут быть предотвращены "подписанием" заявок (например, цифровые подписи), или заверены третьей стороной перед обработкой заявок
- Невозможно в английском аукционе!

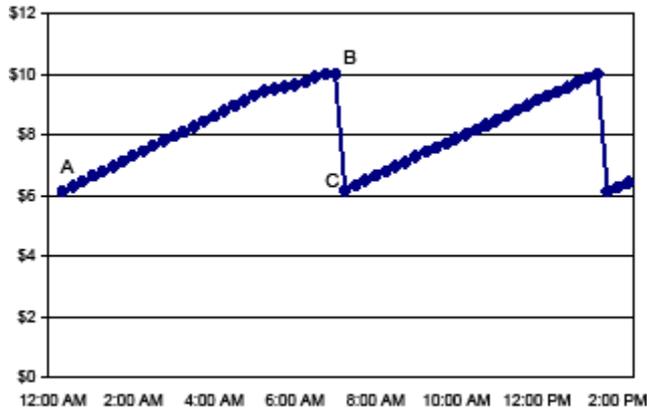
Обобщенные аукционы первой цены

Используются Yahoo для аукционов “спонсорских (рекламных) ссылок”

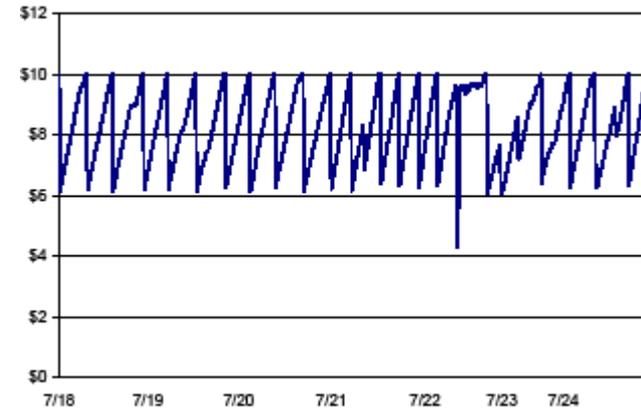
Введен в 1997 г. для продажи интернет-рекламы на Yahoo/Overture (до этого была только "баннерная реклама"):

1. Рекламодатели делают заявки, сообщая о готовности платить «за клик» по определенному ключевому слову
 - Заявка CPC (Cost-Per-Click) – цена клика
 2. Рекламодателям выставляется счет за каждый «клик» спонсорской ссылки, ведущей к их странице
 - Ссылки располагаются в порядке убывания ставок, т. о. самыми известными становятся заявки максимальной стоимости
- Аукцион проводился во время каждого поиска!
 - Однако, механизм аукциона оказался нестабильным!
 - Претенденты пересмотрели свои ставки как можно чаще

Обобщенный аукцион первой цены. Пример



Топовые заявки в \$, для конкретных ключевых слов (Июль 2002)



Динамика цен тех же ключевых слов за неделю

1. Два агента-рекламодателя A1 и A2 конкурируют за первую позицию в списке ссылок
2. Торги начинаются с ними обоими ниже их максимальных цен (A)
3. A1 полагает возможным выиграть повысив ставку второго претендента на \$0,01
4. A2 видит, что его перебивают и в свою очередь повышает ставку
5. Этот процесс продолжается, пока ставка не достигнет максимальной ставки агента A1 (B)
6. A1 не может больше повышать цену, поэтому вместо этого он смотрит, чтобы не переплатить, понижая свою ставку до уровня на \$ 0,01 больше, чем претендент на третьем месте (C)
7. A2 видит, что он может теперь получить первое место, заявив на \$ 0,01 больше, чем новая сниженная цена A1
8. Заявки таким образом вновь начинают расти ...

Обобщенные аукционы второй цены

- Используется Google для аукционов “спонсорских ссылок” (AdWords Select)
- Поскольку покупатели не хотят много переплачивать по сравнению с конкурентами, используется аукцион второй цены (2nd price auction)
- Дальнейшая модификация:
 - Рекламодатели делают заявки на ключевые слова и словосочетания
 - Цена состоит из предложения и показателя качества
- Увидев успех Google, Yahoo в 2002 г. также переключилось на аукционы второй цены

Advertiser	CPC Bid	Quality Score	Rank #	Position	CPC
A	\$0.40	18	$\$0.40 \times 18 = 7.2$	1	\$0.37
B	\$0.65	10	$\$0.65 \times 10 = 6.5$	2	\$0.39
C	\$0.25	15	$\$0.25 \times 15 = 3.8$	3	\$0.10