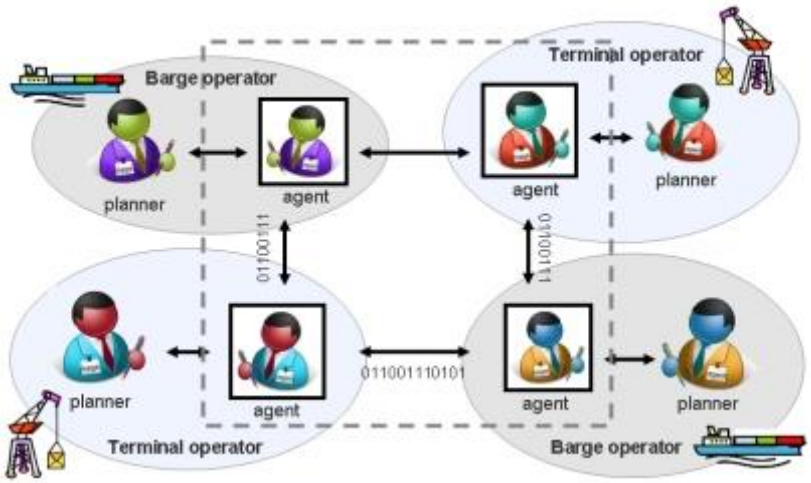
Лекция 13
«Мультиагентные системы»

Автор: д.т.н Джомартова Ш.А.



Что же это такое – мультиагентная система?



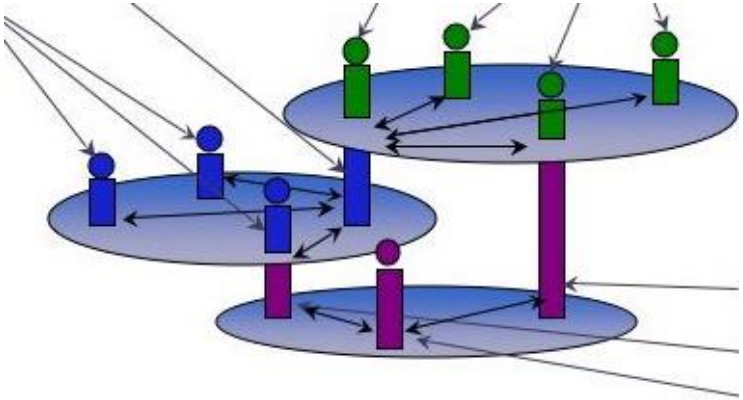






Мультиагентные системы

- Мультиагентные системы – это системы, состоящие из множества агентов, которые потенциально могут взаимодействовать друг с другом. Агенты способны действовать в среде, которая, в свою очередь влияет на их поведение

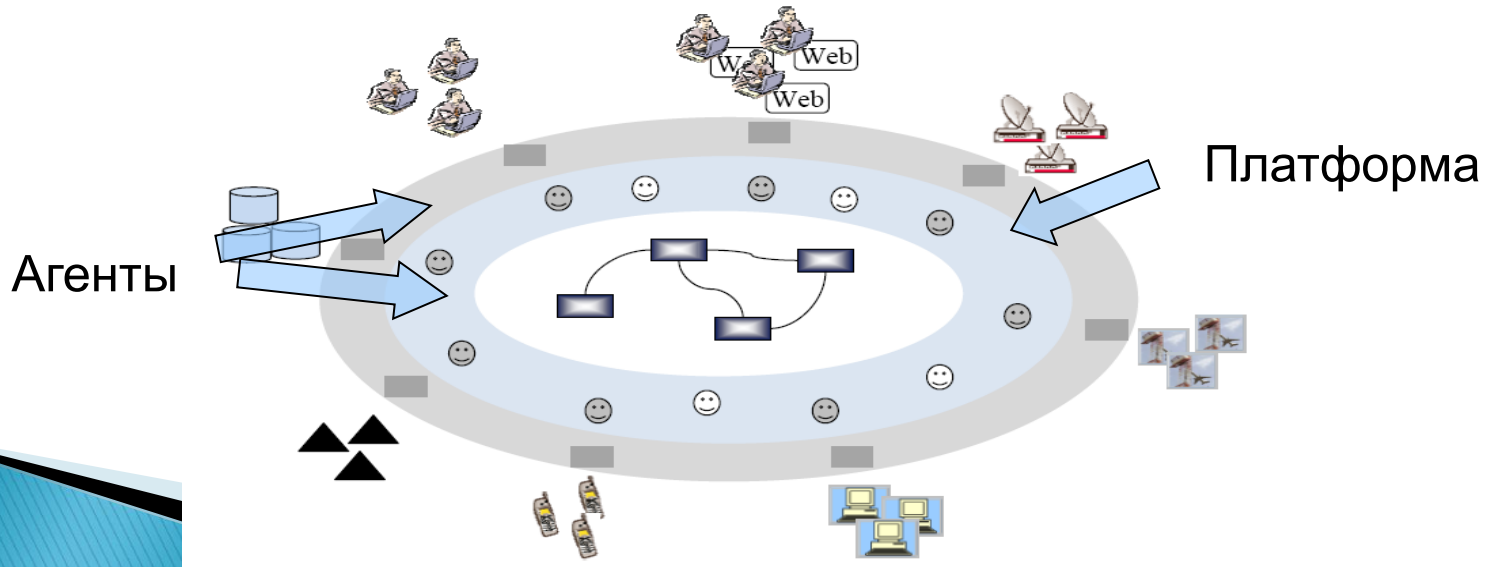


Как устроена мультиагентная система?

МАС есть сеть слабо связанных решателей частных проблем (агентов), взаимодействующие для совместного решения задач, которые не под силу ни одному отдельному решателю

МАС – это множество агентов (посредников), реализующих парадигму ***«вычисления на основе взаимодействий»***

(каждый агент что-то знает и что-то умеет, а вместе они могут очень много!)



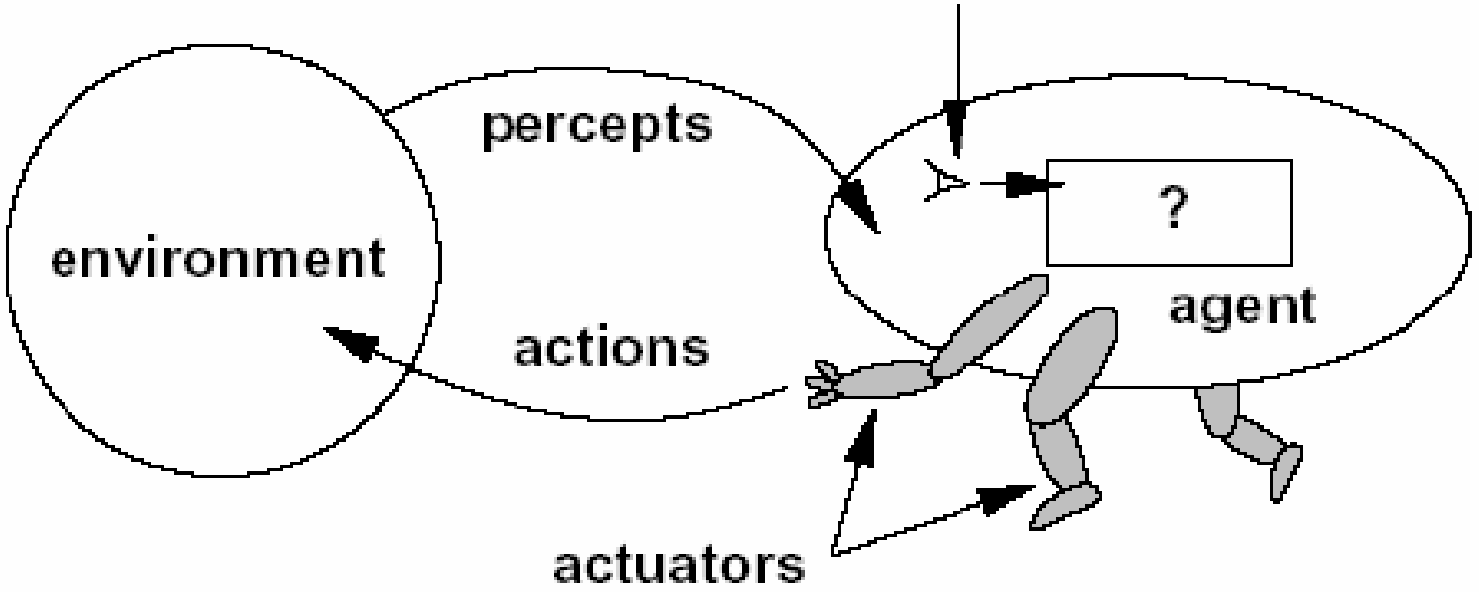
Что такое агент?







Определение агента



- **Агент** – сущность, которая может воспринимать окружающую среду посредством рецепторов и взаимодействовать с ней

Агент – это программа-посредник и не только

Агент – это программный посредник между человеком и внешней средой





Поиск информации в Интернет (музыка, кино, расписание самолетов, ресторан, научная литература,…)

Запуск программ и управление ими

Удаленное управление домашними устройствами (‘Smart Home”)

Автоматическое управление электронной почтой (сортировка писем, напоминание, …)

Покупки в Интернет - магазине

Удаленная работа на бирже

Агент – это программный посредник между человеком и другими программами, или посредник между программами, или посредник между программами и внешней средой или посредник между человеком и внешней средой

Свойства интеллектуального агента

Автономность (независимость)–способность функционировать без вмешательства человека, осуществляя самоконтроль над своими действиями и внутренним состоянием.

Общественное поведение (*взаимодействие*)–способность функционировать в сообществе агентов, обмениваясь сообщениями с помощью некоторого языка коммуникаций.

Реактивность (*координация*)– способность воспринимать состояние среды и своевременно реагировать на ее изменения.

Проактивность (*proactivity*) – способность действовать в упреждающей манере, в частности, генерировать новые цели и действовать рационально для их достижения, а не только реагировать на события.

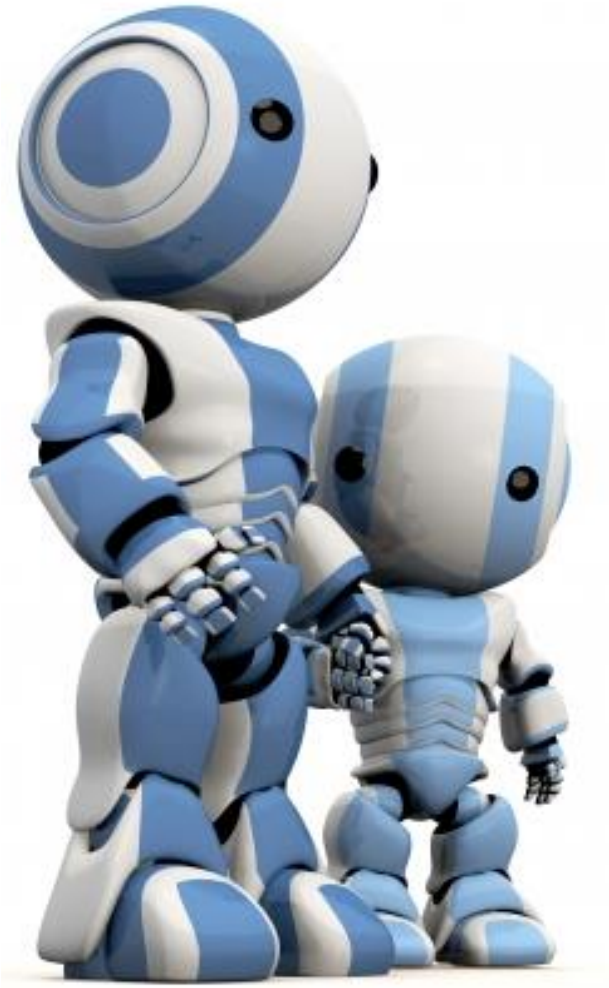
Другие свойства интеллектуального агента

Мобильность (*mobility*) – способность *агента мигрировать* по сети (e.g., в сети Internet) в поисках необходимой информации или сервисов.

Благожелательность (*benevolence*) – готовность агентов помогать друг другу, что предполагает отсутствие у агентов конфликтующих целей.

Правдивость (*veracity*) – свойство агента не манипулировать информацией, про которую ему заведомо известно, что она ложна.

Рациональность (*rationality*) – свойство агента действовать так, чтобы достигнуть своих целей, а не избегать их достижения в рамках своих знаний и убеждений.



Автономность

- Агент – система, способная к ***независимым*** действиям на стороне пользователя или владельца



Взаимодействия

- Многоагентная система (МАС) – система, содержащая агентов, ***взаимодействующих*** между собою



Координация

- Для успешного взаимодействия агенты должны уметь ***сотрудничать***, ***координировать действия*** и ***вести переговоры***



Типы агентов



- Типы агентов
  - Программные агенты – взаимодействующие сущности в программной среде
  - Роботы – взаимодействующие механизмы в реальном мире
  - Люди/животные – взаимодействующие биологические существа в реальном мире
- **Мы рассматриваем**
  - **Программных агентов**

Что такое агент?



Агент – это автономная компьютерная программа, которая находится в некоторой среде, и которая способна к автономному поведению, направленному на реализацию целей, ради которых она (программа) была создана".

“**Программный агент** – это автономная программа, которая находится в некоторой среде, от которой она получает данные, которые отражают события, происходящие в среде, интерпретирует их и воздействует на среду “



Что не является агентом?

- Массовые технологии программирования
  - Мастера (Wizards)
  - Скриптовые языки
  - Языки программирования
  - Объекты
  - Классы

- Отдельные методы ИИ
  - Системы, основанные только на правилах
  - Нейросети
  - Планировщики
  - …



Что является агентом?

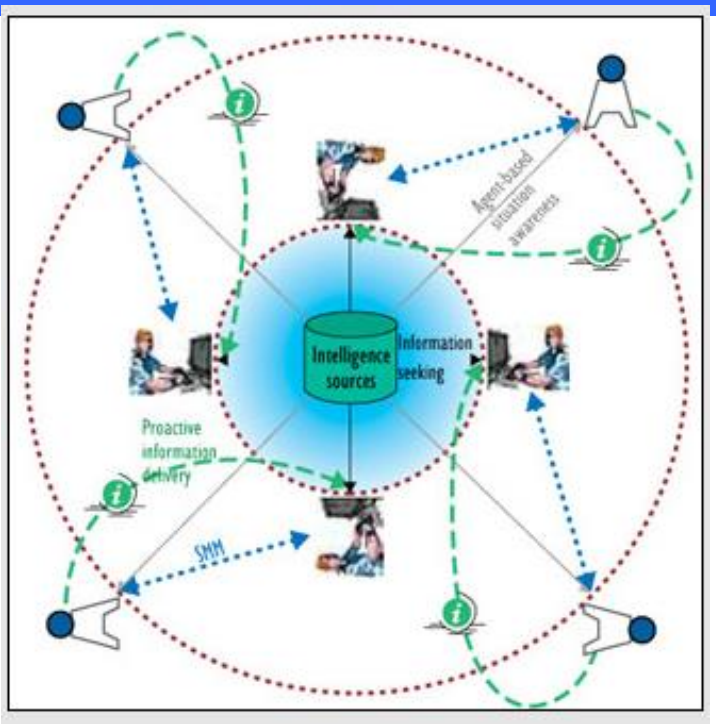
- Вирусы
- Интеллектуальные помощники
- Компоненты активных баз данных и self* систем
- Поисковые боты
- Чат-боты
- NPC (неигровые персонажи) игр
- Роботы
- …
- люди

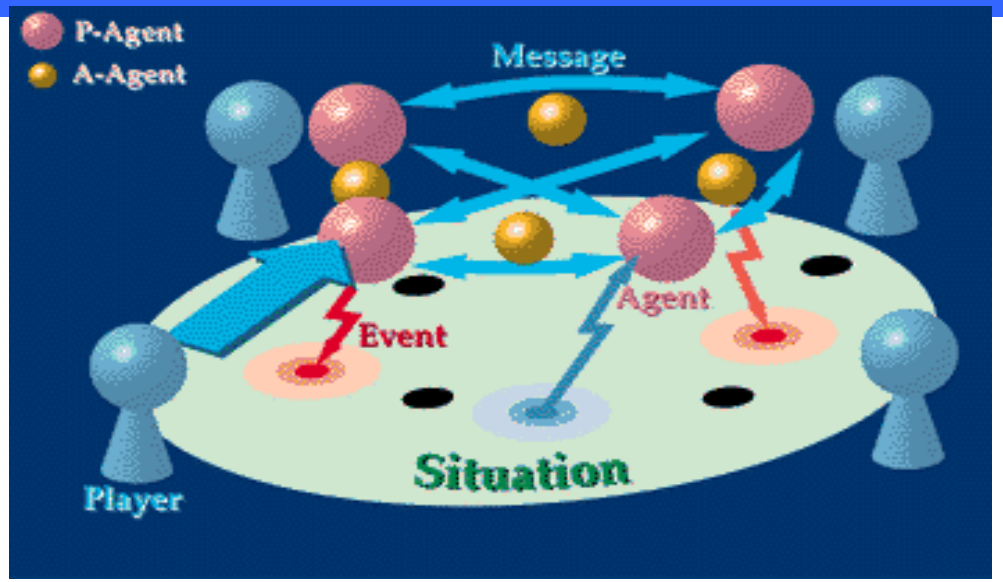


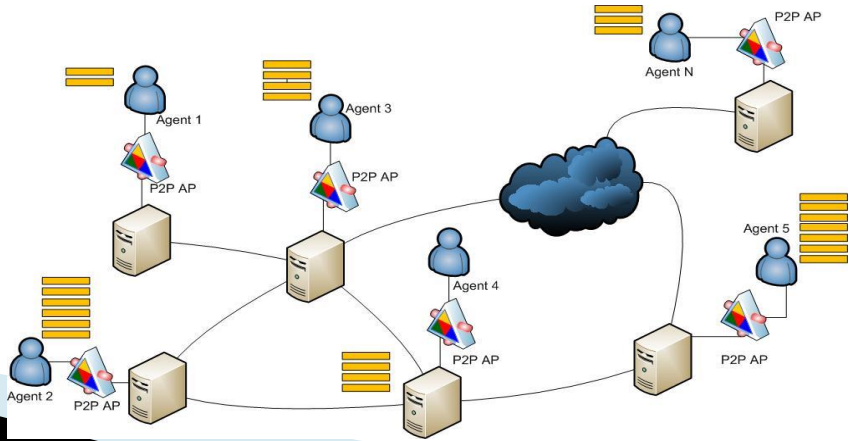
Агенты и объекты

Объекты	Агенты
Пассивность	Активность
Не может реагировать сам на события внешнего мира	Может самостоятельно реагировать на события во внешнем мире
Не может запускать процессы по собственной инициативе.	Может запустить процесс по собственной инициативе
Детерминированная реакция	Недетерминированная реакция
Не может объявлять свои интерфейсы	Может объявлять свои сервисы и их интерфейсы
Может поддерживать только одну нить исполнения	Может поддерживать сразу много нитей исполнения
Не могут инициировать взаимодействие	Могут инициировать взаимодействие
Не поддерживают асинхронный режим	Асинхронные и поддерживают параллельную обработку
Имеет только один метод сообщений	Сообщения имеет более свободную форму
Не обучаем	Способен к обучению
Не может мигрировать по сети	Способен к миграции по сети

Мультиагентные системы







Характерные черты мультиагентных систем

Основные признаки программ, называемых мультиагентными:

1. Каждый агент имеет **неполную информацию** о среде, имеет **собственную модель** внешней среды **и ограниченные возможности** по решению "своей" проблемы.
2. **Глобальное управление** агентами ограничено или отсутствует.
3. **Данные**, которые используются агентами, **децентрализованы** и часть их может являться "**собственностью**" отдельных агентов.
4. Агенты функционируют в **асинхронном** режиме.
5. Агенты координируют свои действия путем обмена сообщениями **на языке высокого уровня**

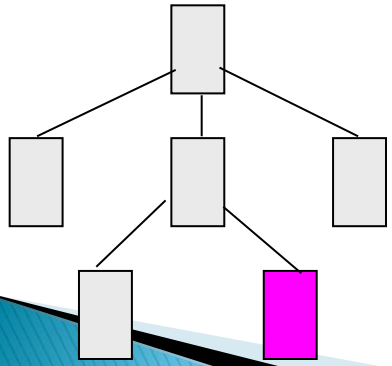
В чем секрет популярности мультиагентной системы?

- **Увеличение производительности и эффективность** – из-за асинхронного и параллельного исполнения
- **Устойчивость к сбоям и надежность** – вся система продолжает работать если один из ее компонентов выходит из строя
- **Масштабируемость и гибкость** – легко добавлять новых агентов в систему
- **Стоимость** – цена одного агента мала по сравнению со всей системой
- **Повторное использование** – модульное программное обеспечение легче разрабатывать и поддерживать

Особенности мультиагентных систем

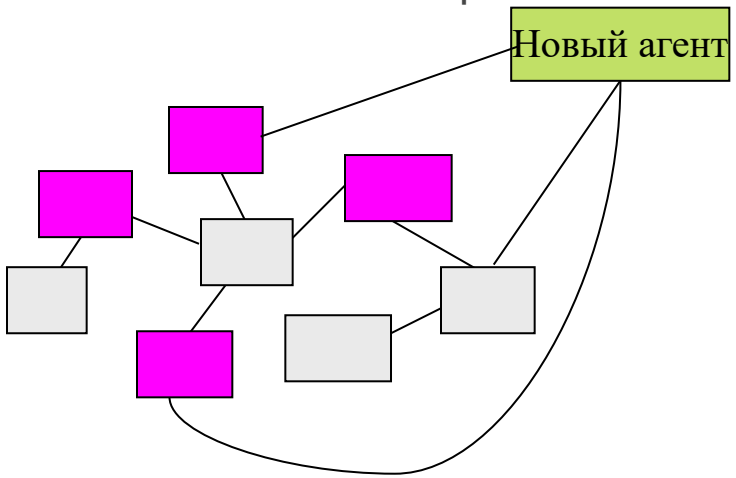
Классические системы

- Иерархии больших программ
- Последовательное выполнение операций
- Инструкции сверху вниз
- Централизованные решения
- Управляются данными
- Предсказуемость
- Стабильность
- Централизованное управление



Мультиагентные системы

- Большие сети малых агентов
- Параллельное выполнение операций
- Переговоры на языке высокого уровня
- Распределённые решения
- Управление от знаний
- Самоорганизация
- Эволюция




Алгоритмы кластеризации
Нейронные сети
Системы, основанные на знаниях
Нечеткая логика
Умный агент
Обработка естественного языка
Теорема Байеса
Генетические алгоритмы
Деревья решений

Задача о восьми ферзях

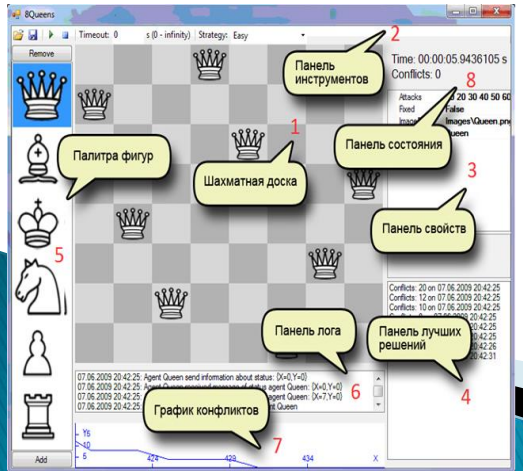
Постановка задачи: расставить на шахматной доске размером 8 на 8 клеток фигуры восьми ферзей так, чтобы они не били друг друга.

Традиционное решение: комбинаторный перебор порядка 5 миллиардов комбинаций. Результат: 36 комбинаций. Человечество решало задачу более полутора веков.

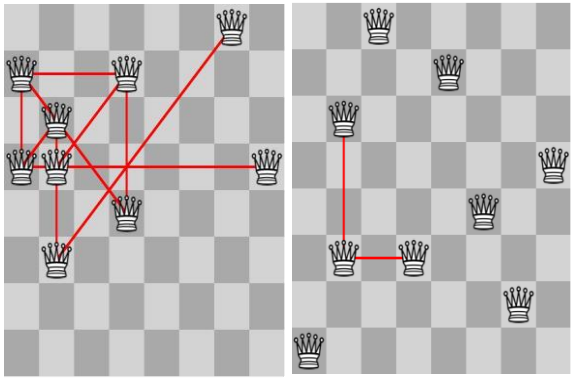


Решение задачи с помощью МАТ: переговоры агентов ферзей, кто-уйдет-куда (в простейшем случае – случайно). Решение для заданной ситуации ищется обычно менее, чем за 5 ходов!

Интерфейс пользователя:







Какой сделать следующий ход?

В своем развитии МАС прошли две фазы:

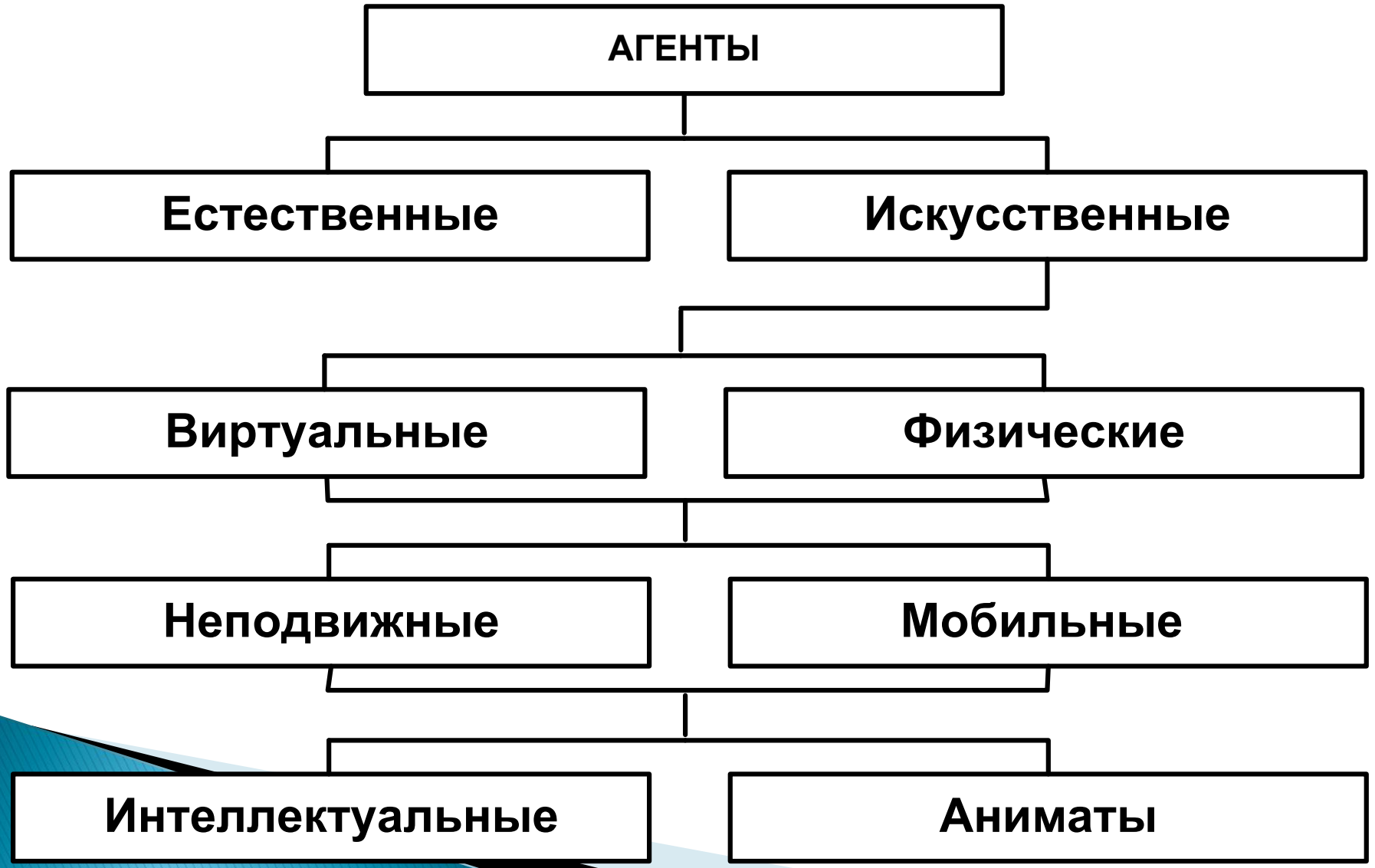
1. 1977 – начало 90-х – создание ***смышленых агентов*** (smart agents).

Изучались вопросы о том, как агенты могут договариваться, как координировать свои действия, как декомпозировать и распределять задачи и т.д.

2. 90-е – до настоящего времени – создание ***интеллектуальных агентов (intelligent agents)***.

Работы этого периода характеризуются практическими применениями, а в фокусе внимания исследователей теперь находятся вопросы архитектуры, языки представления сценариев, средства проектирования агентов.

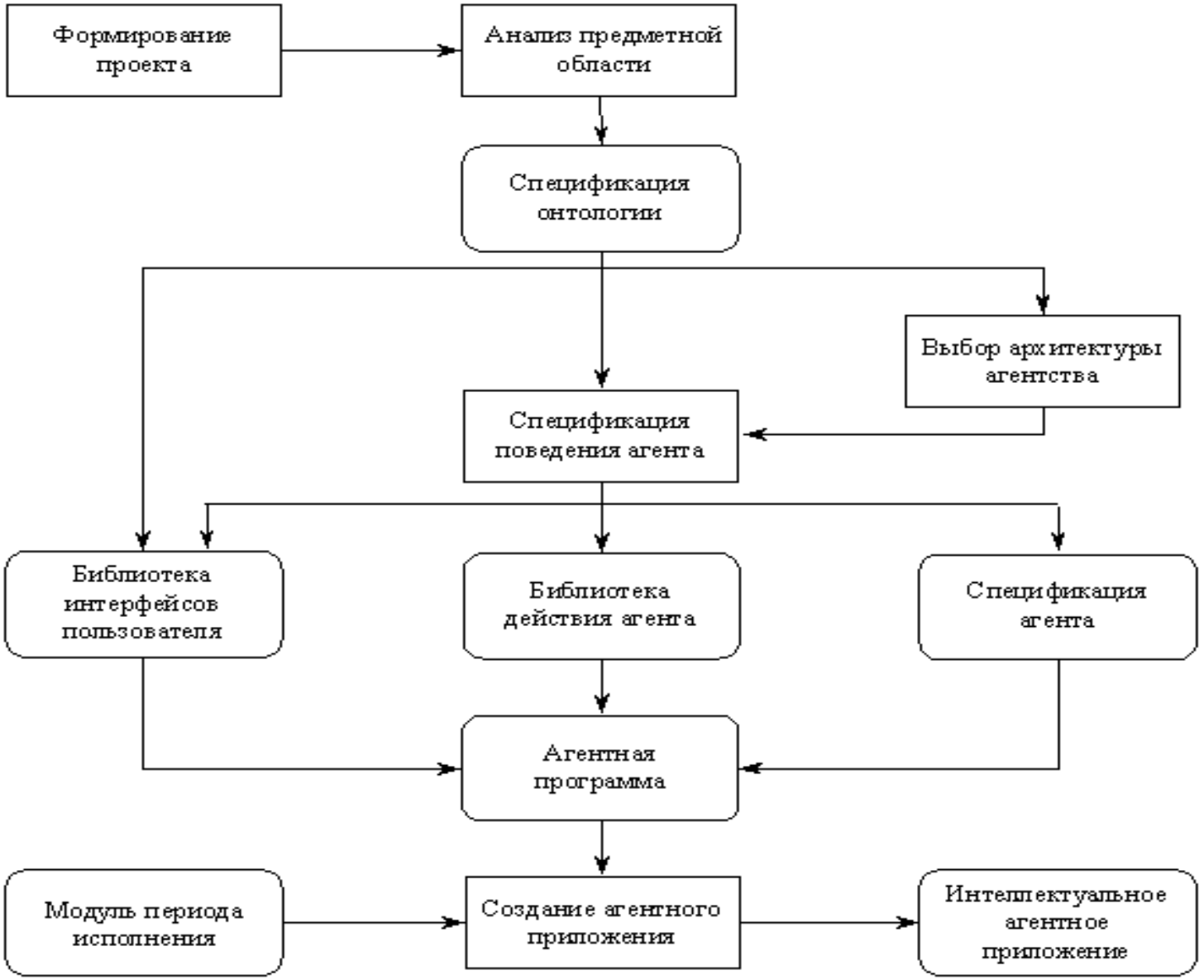
Общая классификация агентов



Архитектура ядра мультиагентной системы



Технологическая схема процесса разработки агентно-ориентированных приложений



Типы организации и сферы применения агентов и агентных систем

Мультидисциплинарность



Искусственный интеллект

Причины использования:

- Распределенный ИИ
  - Распределенные базы знаний
  - Распределенный логический вывод и решение задач
- Интеграция отдельных методов ИИ в агенте, способном воспринимать информацию среды и совершать действия
- Новая концепция интеллекта
  - Корни интеллекта связаны с культурой и обществом
  - Общее разумное поведение формируется совместными действиями из большого числа простых полуавтономных индивидуумов

Решает задачи:

- Микроуровень – «мозг» агента
- Макроуровень – совместное планирование и решение задач



Распределенные системы и сети

Причины использ-я:

- Новый уровень управления программной и аппаратной инфраструктурой

Решает задачи:

- Архитектуры производительных агентных платформ
- Координация действий (например, в Grid-системах)

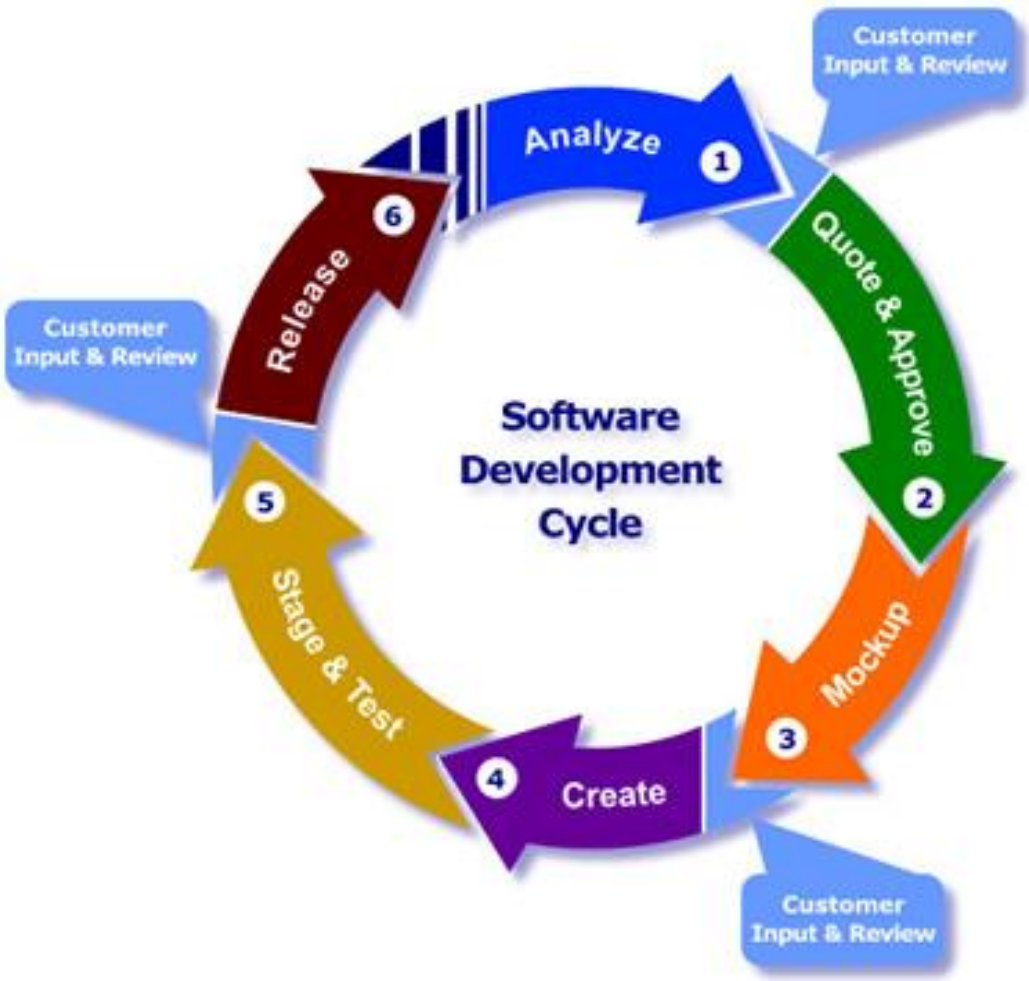
Разработка ПО

Причины использования:

- Агенты как абстракция и средство анализа и постро еще более сложных систе
- Многоагентная архитекту автономная компонентная архитектура построения интеллектуальных систем

Решает задачи:

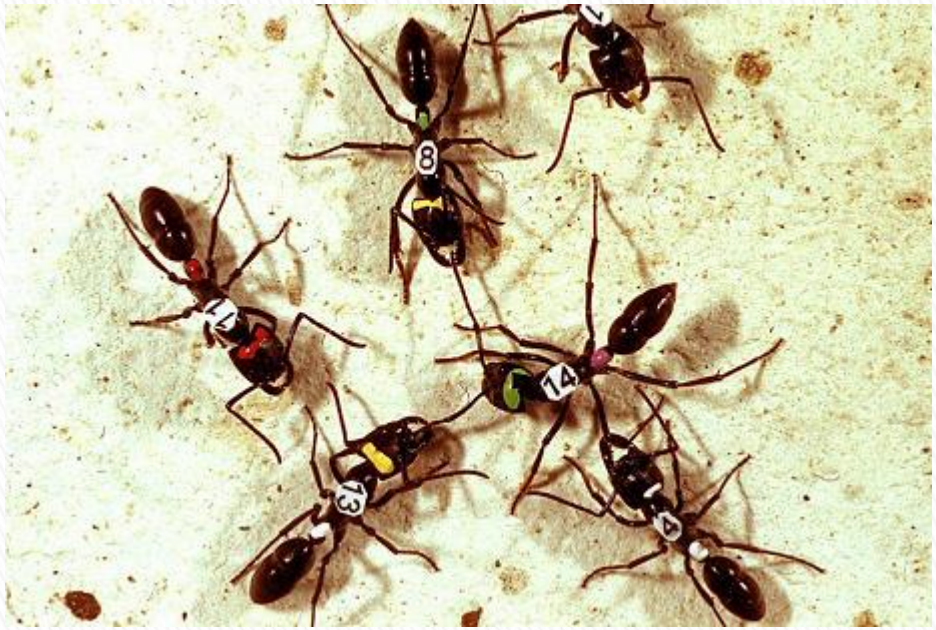
- Дешевая и качественная ре МАС
- Методологии
- Инструменты
- Платформы



Социальные науки

Причины использ-я:

- Натурное моделирование



Решает задачи:

- Социальные понятия и модели
  - Доверие
  - Репутация
  - Сообщества
  - Модели психологии человека

Теория игр

Причины использ-я:

- Натурное моделирование



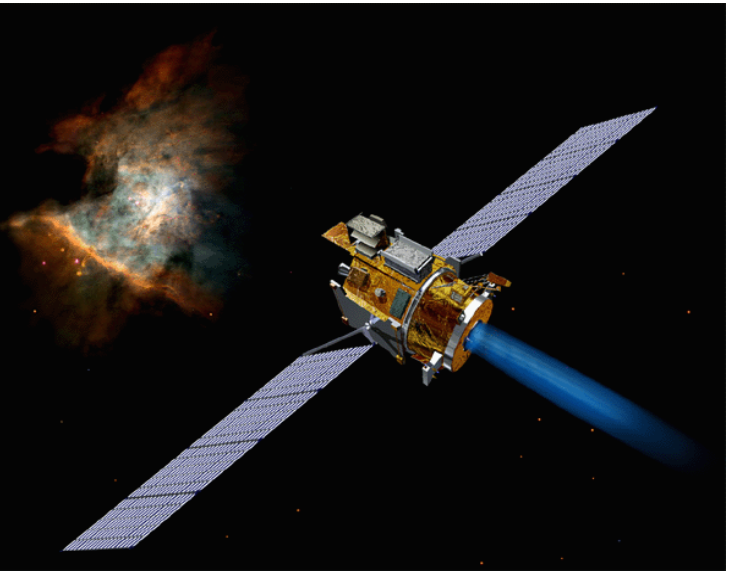
Решает задачи:

- Поведение МАС
  - Стратегии поведения
  - Ведение аукционов
  - Ведение переговоров

Примеры MAC



Управление автономными космическими аппаратами





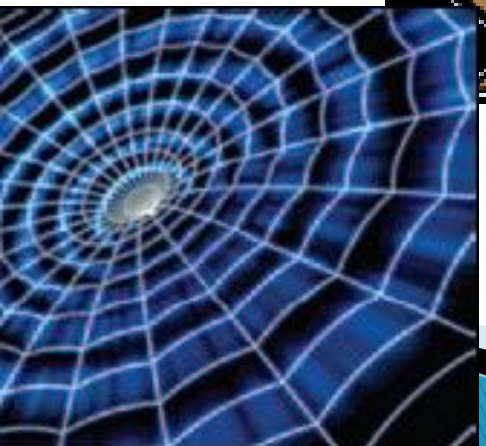
- Глубокий космос
  - Нестабильная связь
  - Большое время задержки (<= 21 минут в направлении Земля-Марс)

- **Необходимо**
  - Автономное принятие решений
  - Автономное планирование действий
  - Автономное совершение действий
  - Координация группового поведения элементов космической миссии

Поиск информации







- Веб
  - Распределенные хранилища
  - Слабоструктурированная информация
- **Необходимо:**
  - Выбрать из множества предложений подходящий для хозяина автомобиль/дом/яхту
  - Не задавать глупых вопросов

Персональные помощники

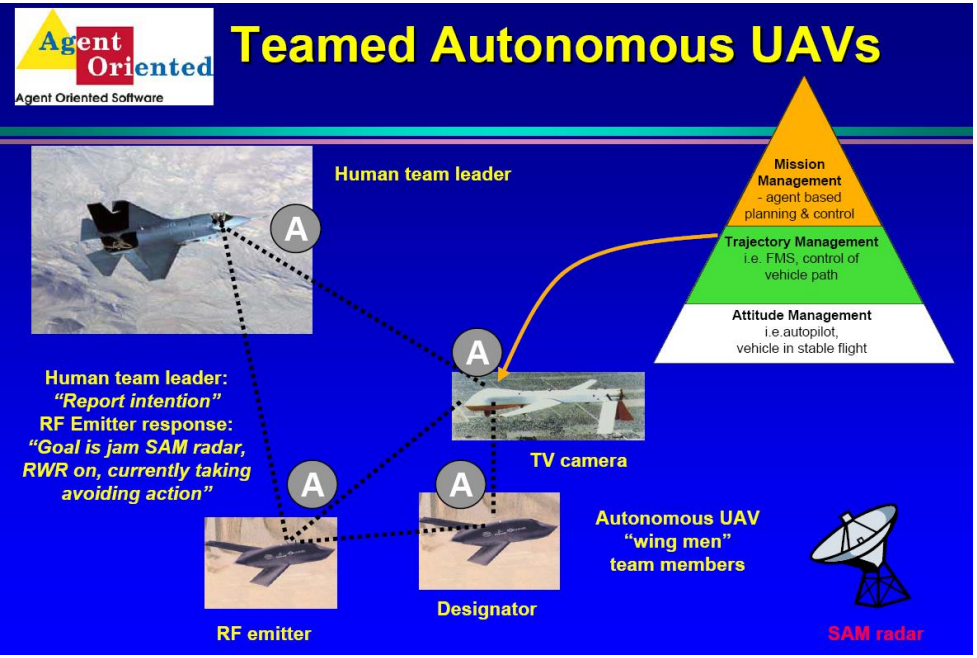




- Пользователь с мобильным устройством

- **Необходимо**
  - Представление интересов пользователя
  - Автоматизация рутинных действий человека
  - Действия в контексте окружающей человека ситуации
  - Коммуникации с другими помощниками и сервисами, ведение переговоров

Искусственная война



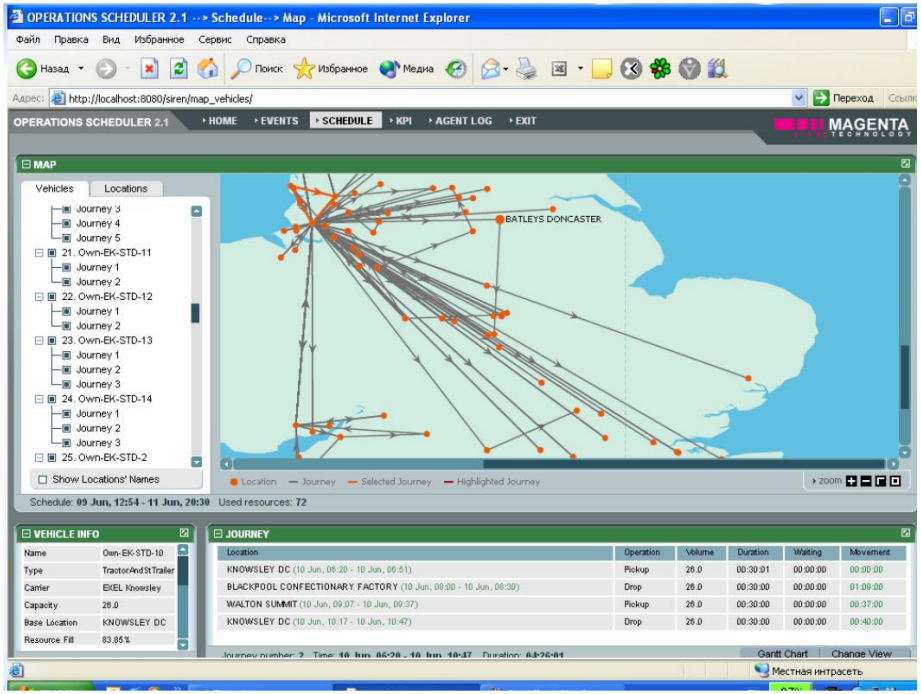
- Театр военных действий
  - БПЛА разведки, управляемые операторами
  - Ударные БПЛА, управляемые операторами
  - Обычные армейские подразделения
- **Необходимо**
  - Сбор данных из нескольких источников (БПЛА, спутник, РЛС), их сопоставление и перепроверка
  - Планирование и координация людей и техники

Поточное производство



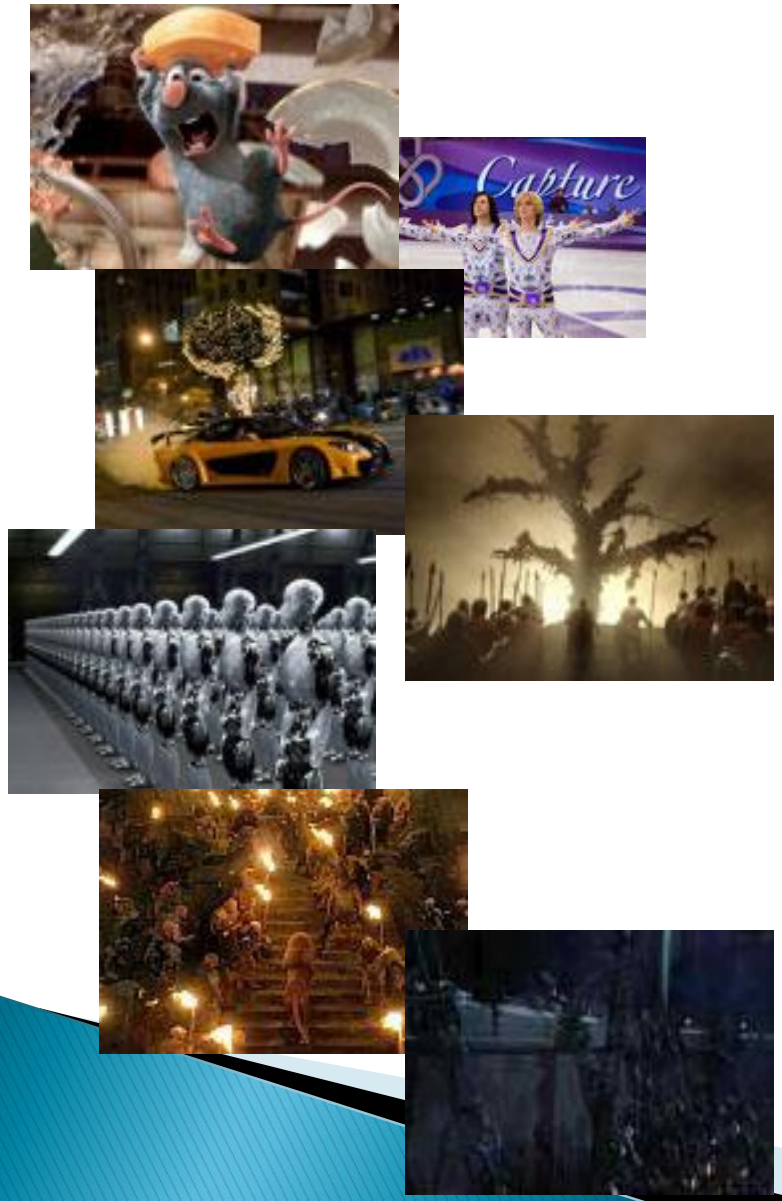
- Изменения производства
  - Более короткие жизненные циклы продуктов
  - Сокращение времени разработки и выпуска изделия
  - Увеличивающееся разнообразие продуктов
  - Непостоянный спрос
  - Снижение объема инвестиций
- **Необходимо:**
  - Гибкость конфигурации продукта
  - Масштабируемость объемов выпуска
  - Надежность

Логистика



- Транспортировка нефти
  - Стоимость самого груза и его доставки меняется в течение дня
  - Флот из 42 сверхбольших танкеров
  - Параметры танкеров различаются
  - Расходы включают стоимость топлива, обслуживание в порту и т.д.
- **Необходимо:**
  - Максимизация прибыли от транспортировки
  - Реал-тайм планирование и перепланирование маршрутов
  - Разрешение конфликтов

3D-анимация



- 3D виртуальный мир
  - Зрение, слух, прикосновение у каждого
  - От сотен до сотен тысяч существ
- **Необходимо:**
  - Независимое целеориентированное поведение персонажей
  - Реалистичные визуальные взаимодействия между существами

Моделирование поведения



- Планы эвакуации, координация спасателей и техники
- Управление движением
- Управление организациями
- Социологические исследования
- Экономическое моделирование рынков
- Биологическое моделирование (artificial life)

Агент – дворецкий



- Представьте, что ваш собственный мобильный дворецкий, путешествует вместе с Вами и организует все аспекты вашей жизни: бронирует столик в ресторане для делового общения, заказывает такси на нужное время.
- Программа работает через мобильный телефон и способна определять предпочтения пользователя и использовать интернет для планирования деловых и общественных мероприятий.
- И, как настоящий дворецкий, он призван улучшить связь между программой-агентом и пользователем по мере углубления их знакомства.
- Алгоритмы обучения позволят дворецкому не устраивать встречи без необходимости, постоянно сверяться с пользователем, чтобы установить его требования.

RoboCup agents

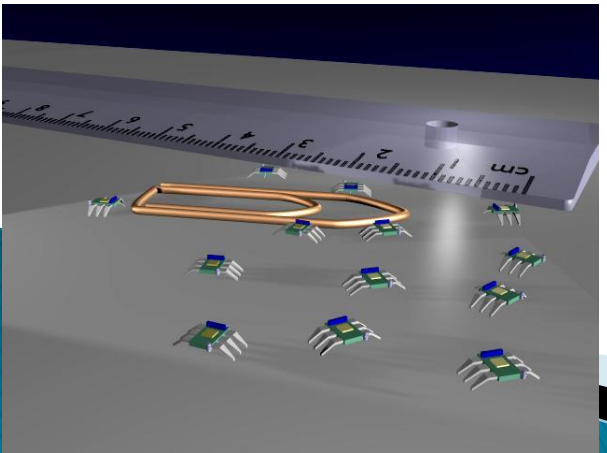


- Цель ежегодных соревнований RoboCup, впервые состоявшихся в 1997г- организовать команду роботов-футболистов, которые смогли бы обыграть лучшую команду по футболу к 2050.
- Все роботы в этой лиге являются полностью автономными. При этом роботы-агенты должны проявить максимально разумную кооперацию в динамических условиях состязательности сторон.
- Федерация RoboCup - это международная организация, зарегистрированная в Швейцарии, призванная объединить международные усилия по развитию науки и техники, используя футбольные игры роботов и программных агентов.
- http://www.robocup.org/

РОЙ

Интеллектуальные автономные роботы Small World для микроманипуляций





- Прорывом в робототнических исследованиях явилось объединение экспертов по микророботам, по распределенным адаптивным систем, а также специалистов в самоорганизующихся системах биологического Роя.
- Облегчить массовое производство микророботов, которые затем могут быть использованы в качестве "реального" Роя, состоящего максимум из 1000 клиентов- роботов. Эти клиенты будут оборудованы "бортовым интеллектом".
- Рой будет состоять из огромного количества разнородных роботов, различающихся по типу датчиков, манипуляторов и вычислительной мощности. Такой Рой роботов, как ожидается, будет адаптирован для выполнения различных приложений, в том числе микро-сборки, биологических, медицинских задач, или задач очистки.

Реально автономный БПЛА

- Первый в мире, действительно автономный, интеллектуальный Агенто-управляемый полет выполнил Codarra "Аватар" беспилотный летательный аппарат (БПЛА).
- Летные испытания проводились в ограниченном воздушном пространстве на дальности под эгидой австралийской армии примерно в 60 милях к северу от Мельбурна.
- Аватаром руководил бортовой интеллектуальный программный агент JACK™, который управлял Автопилотом самолета в ходе миссии.





Будущее мультиагентных технологий



1. **Общий вектор развития**

Будущее мультиагентных систем связано с переходом от: отдельных интеллектуальных систем ➡ к **экосистемам взаимодействующих агентов**

📌 Ключевой тренд: один ИИ → множество специализированных ИИ-агентов

Будущее мультиагентных технологий

2. MAS + LLM (революция 2024–2030)

Современные системы на базе больших языковых моделей (LLM) превращаются в мультиагентные экосистемы:

Основные направления:

AutoGPT / AgentGPT / CrewAI

Разделение ролей:

Planner (планировщик)

Executor (исполнитель)

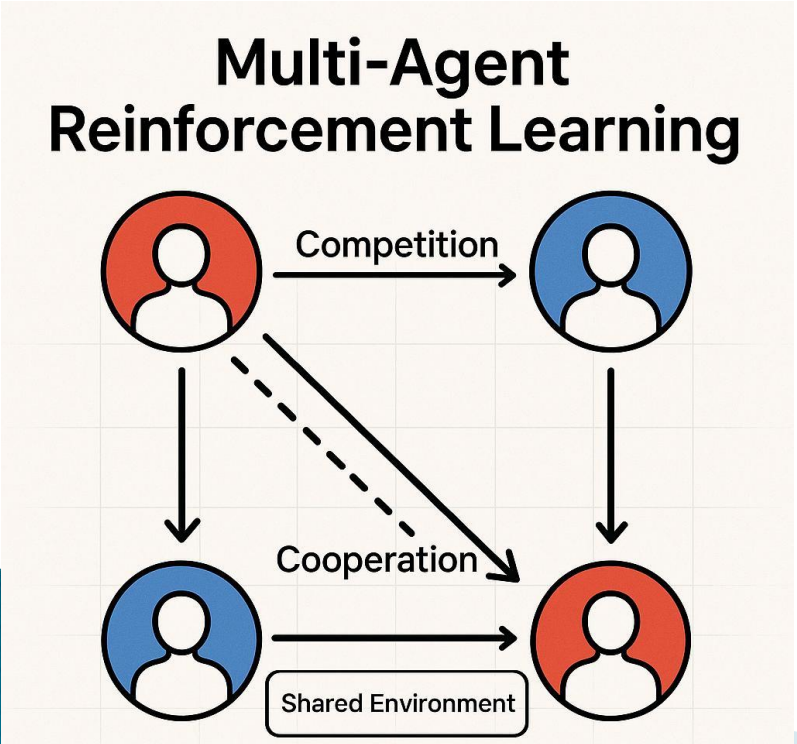
Critic (оценщик)

Автоматизация сложных задач (RAG, исследования, кодинг)

📌 Тренд:

«Один агент не справляется → команда агентов»

Будущее мультиагентных технологий



3. Самообучающиеся мультиагентные системы

Будущее — за **Multi-Agent Reinforcement Learning (MARL)**

Возможности:

обучение в динамической среде

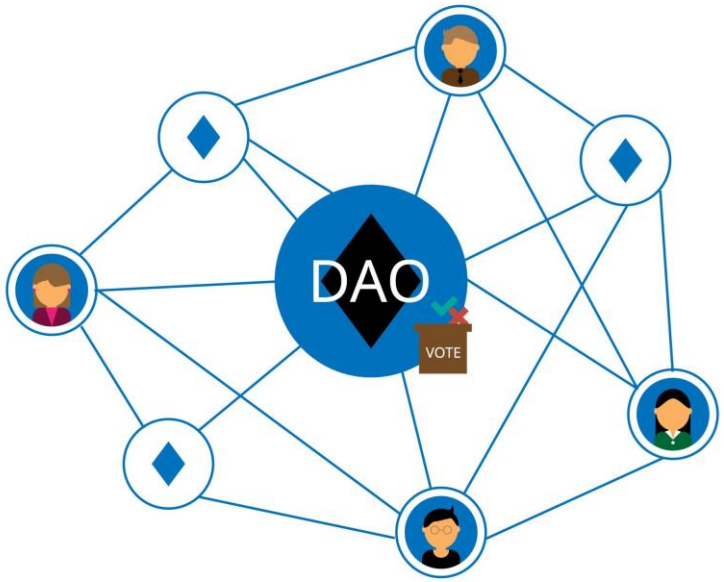
адаптация к другим агентам

появление **эмерджентного поведения**

📌 Пример:

автономные автомобили учатся взаимодействовать друг с другом

Будущее мультиагентных технологий



4. Децентрализованные системы (Web3 + MAS)

Интеграция MAS с блокчейном:

Новые концепции:

DAO (децентрализованные организации)

автономные экономические агенты

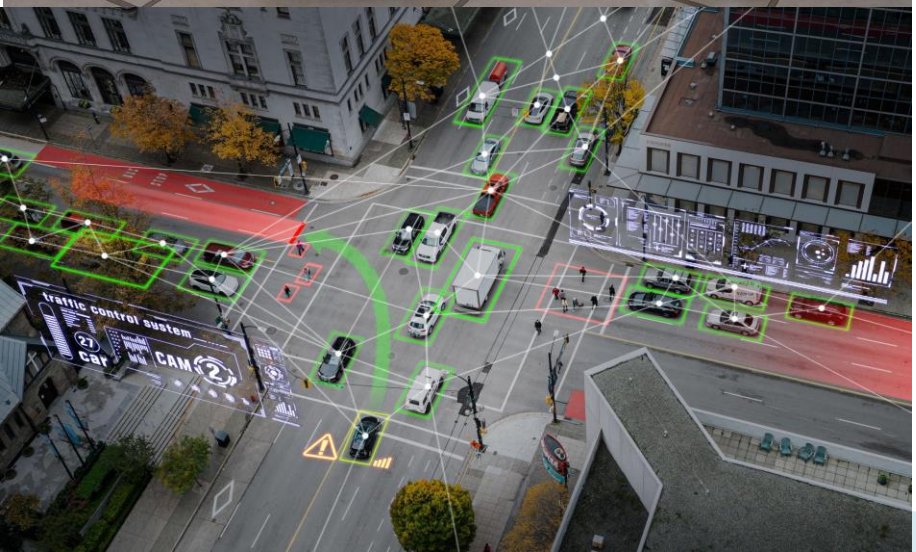
smart-contract взаимодействие

📌 Результат:

агенты могут действовать **без центра управления**

Будущее мультиагентных технологий





5. Физические мультиагентные системы

Области:

рой дронов

автономные автомобили (V2V)

умные города

промышленная автоматизация

📌 Тренд:

переход от виртуальных агентов → к физическим системам

Будущее мультиагентных технологий

6. Математическое усложнение моделей

$$\pi_i(a_i \mid s) \to \max \mathbb{E}\left[\sum_t \gamma^t r_i(t)\right]$$

Будущее MAS требует:
многомерных стратегий
стохастических моделей
сложных оптимизаций
📌 Основные области:
теория игр
MARL
оптимизация

Будущее мультиагентных технологий

7. Эмерджентный интеллект

Эмерджентность — ключевая идея будущего:

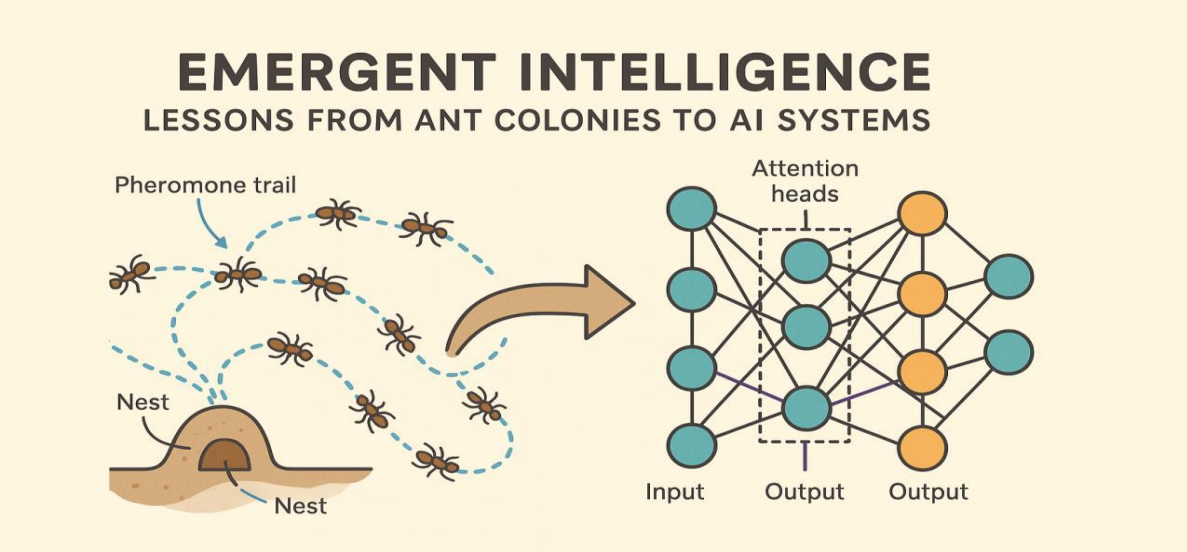
📌 система:

не запрограммирована явно

но демонстрирует сложное поведение

Примеры:

муравьиные колонии



Проблемы и вызовы будущего

Основные риски:

- ✗ конфликт агентов
- ✗ неконтролируемое поведение
- ✗ безопасность
- ✗ объяснимость решений
- 📌 Особенно важно:

  контроль и управление коллективным интеллектом

Прогноз на 5-10 лет

2025-2030:

- массовое внедрение AI-агентов
- автоматизация бизнеса через MAS
- развитие LLM-агентных платформ

2030+:

- автономные цифровые экосистемы
- AI-экономика
- цифровые двойники общества

Вывод

Будущее мультиагентных систем — это:

✓ распределённый интеллект

✓ самоорганизация

✓ автономные решения

✓ интеграция с LLM, IoT и Web3

📌 Главный тезис:

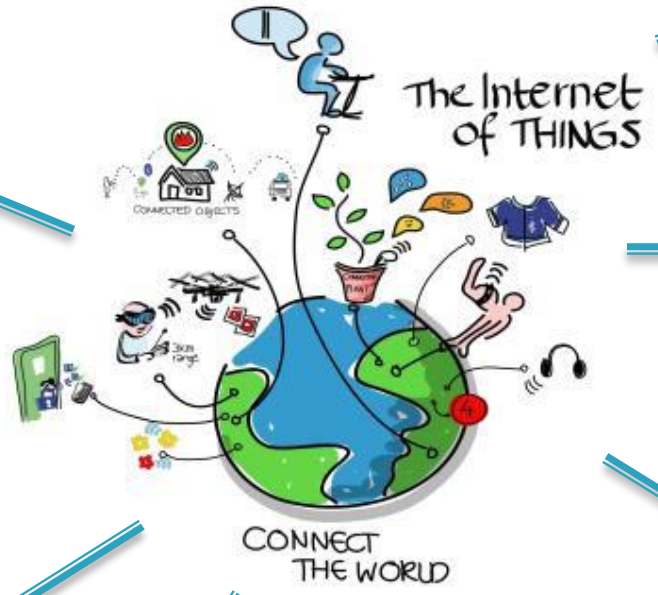
будущее ИИ — это не один интеллект, а **коллективный интеллект агентов**

Будущее мультиагентных технологий

Интернет вещей

Интеллектуальный транспорт

Интеллектуальный город



Интеллектуальные энергетические сети

Роботы

Интеллектуальная медицина

Управление роем БПЛА

А еще «большие данные», адаптивное конструирование, понимание текста и другие приложения …

Агент и MAC. Выводы

- **Агент** – система, способная к *независимым* действиям на стороне пользователя или владельца
- **Многоагентная система (MAC)** – система, содержащая агентов, *взаимодействующих* между собою
- Для **решения глобальной задачи** агенты должны уметь *сотрудничать*, *координировать действия* и *вести переговоры*

Спасибо за внимание!