

**Санкт-Петербургский государственный  
университет телекоммуникаций**

**Имитационное  
моделирование  
в проектировании и  
технологии изготовления  
электронных средств**

**Профессор кафедры КПРС  
доктор технических наук, профессор  
Савищенко Николай Васильевич**

**Санкт-Петербургский государственный  
университет телекоммуникаций**

**ОСНОВЫ  
ИМИТАЦИОННОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Профессор кафедры КПРС  
доктор военных наук, профессор В.Д. Боев**

# Учебные цели занятия

## Изучить:

- **сущность и основы имитационного моделирования;**
- **имитационного агентного моделирования.**

- 1. Сущность имитационного моделирования.**
- 2. Имитационное агентное моделирование.**

# Литература

- Боев В. Д., Сыпченко Р. П. Компьютерное моделирование. Элементы теории и практики: Учеб. пособие. — СПб.: ВАС, 2009. — 436 с.
- Вентцель Е. С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов / 10-е изд. стер. — М.: Высш. шк., 2006.
- Боев В. Д., Сыпченко Р. П. Компьютерное моделирование. Элементы теории и практики: Курс лекций. — ИНТУИТ.ru, 2010.

# Введение

**В рамках этой лекции мы изучим сущность имитационного моделирования, а также имитационного агентного моделирования.**

# 1. Сущность имитационного моделирования



*Имитационная модель*, как вам известно, это универсальное средство исследования сложных систем, представляющее собой логико-алгоритмическое описание поведения отдельных элементов системы и правил их взаимодействия, отображающих последовательность событий, возникающих в моделируемой системе.

Для описания процессов функционирования таких систем обычно используются **временные диаграммы**.

# 1. Сущность имитационного моделирования



***Временная диаграмма*** – графическое представление последовательности событий, происходящих в системе. Для построения временных диаграмм необходимо достаточно четко представлять взаимосвязь событий внутри системы. Степень детализации при составлении диаграмм зависит от свойств моделируемой системы и от целей моделирования.

Поэтому, *имитационное моделирование можно рассматривать как процесс реализации диаграммы функционирования исследуемой системы на основе сведений о характере функционирования отдельных элементов и их взаимосвязи.*



# 1. Сущность имитационного моделирования



Имитационное моделирование обеспечивает возможность испытания, оценки и проведения экспериментов с исследуемой системой без каких-либо непосредственных воздействий на нее.

Первым шагом при анализе любой конкретной системы является выделение элементов, и формулирование логических правил, управляющих взаимодействием этих элементов. Полученное в результате этого описание называется **моделью системы**.

# 1. Сущность имитационного моделирования

Поскольку целью построения любой модели является исследование характеристик моделируемой системы, в ИМ должны быть включены средства сбора и обработки статистической информации по всем интересующим характеристикам (показателям), основанные на методах математической статистики.

Имитационная модель является функциональной, так как она создается для получения характеристик моделируемого процесса, а не структуры. Однако, моделирующий алгоритм, как правило, имеет модульную структуру, аналогичную размещению и связям элементов в моделируемом объекте.

# 1. Сущность имитационного моделирования

**Имитационная модель дает численное решение задачи, что не позволяет непосредственно усматривать функциональные связи между параметрами процесса, как это демонстрируют аналитические модели.**

**Однако, выполнив серию экспериментов с моделью, направленно изменяя значения исследуемого фактора, и, выполнив обработку результатов, можно построить искомую связь между показателем эффективности системы и исследуемым фактором.**

**Имитационную модель, в отличие от аналитической модели, можно разработать с любой детализацией процесса или явления.**

# 1. Сущность имитационного моделирования

**Пример.** По объекту наносится одиночный ракетный удар. Радиус поражения  $R$ . Попадание ракеты в цель характеризуется рассеиванием, распределенным по нормальному закону со среднеквадратическими отклонениями:

- по дальности  $\sigma_x$ ;
- по направлению  $\sigma_y$ ;

Цель будет уничтожена, если расстояние  $r$  от нее (то есть от точки прицеливания) до центра взрыва ракеты будет меньше или равно  $R$ , то есть  $r \leq R$ . Так как  $R \ll$  размеров объекта, то цель можно считать точечной.

# 1. Сущность имитационного моделирования

Наличие рассеивания исключает однозначный ответ: «цель поражена — цель не поражена». Задача носит вероятностный характер, поэтому в результате моделирования может быть получен ответ: цель будет поражена с вероятностью  $P$ .

***Цель моделирования:*** определить вероятность

$P = P(r \leq R)$  поражения объекта одиночным ракетным ударом.

# Решение

Построим декартову систему координат так, чтобы точечный объект находился в начале координат, а направление пуска ракеты совпадало с осью  $x$  (рис. 3.1).

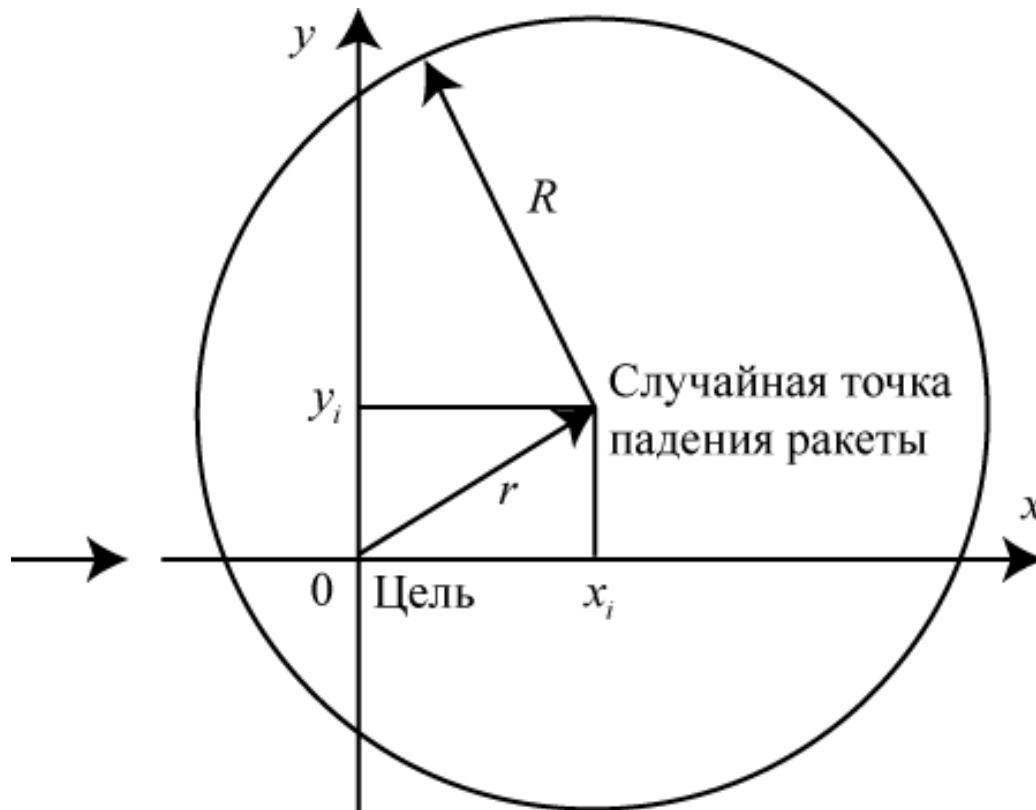


Рис. 3.1. Иллюстрация к имитации нанесения удара

# Решение

Возьмем две последовательности нормально распределенных случайных чисел:

$$x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_N;$$

$$y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_N.$$

Первая последовательность чисел соответствует распределению  $M[x]=0$ ,  $\sigma_x = a$ , вторая –  $M[y]=0$ ,  $\sigma_y = b$ .

Математические ожидания (матожидания)  $M[x]$ ,  $M[y]$  взяты равными нулю, так как объект поражения (точка прицеливания) находится в начале координат, то есть имеет координаты  $x=0$  и  $y=0$ .

**Закон и характеристики случайных чисел  $x$  и  $y$  соответствуют закону рассеивания пуска ракет.**

# Моделирование

1. Имитируем удар, то есть мысленно нанесем удар по объекту путем определения координат взрыва. В силу идентичности закона рассеивания и его характеристик с законами распределения случайных чисел такими координатами могут быть  $x_1$  и  $y_1$ , взятые из последовательностей случайных чисел.

2. Вычислим расстояние от места взрыва ракеты до цели:

$$r_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2}.$$

3. Оценим результаты имитации удара, то есть установим факт поражения или непоражения объекта:

если  $r_1 \leq R$ , то объект поражен;

если  $r_1 > R$ , то объект не поражен.



# Моделирование

4. Если объект поражен, запомним этот факт увеличением  $M$  на единицу, то есть  $M = M + 1$  (в начале моделирования  $M = 0$ ).

5. Для нахождения вероятности поражения объекта повторим имитацию нанесения удара  $N$  раз.

6. Оценим вероятность через частоту поражения объекта:  $P(r \leq R) = M / N$ .

Чем больше число  $N$  (число реализаций, число испытаний, число прогонов модели), тем точнее будет оценка вероятности  $P$ . Далее мы установим количественную связь между числом реализаций модели  $N$ , требуемой точностью и доверительной вероятностью результата моделирования.

# Сущность метода ИМ

1. Создается модель, поведение которой подчиняется тем же вероятностным законам, что и интересующий нас процесс.
2. По известным законам распределения для отдельных характеристик процесса выбираются их случайные значения.
3. Вычисляются параметры исхода процесса при случайных значениях характеристик, полученных на этапе 2, и запоминаются.
4. В результате  $N$  статистических испытаний (повторений этапов 2 и 3) получают  $N$  значений параметров исхода процесса. Вероятностные характеристики параметров исхода процесса получают в результате статистической обработки полученных случайных величин.

# Сущность метода ИМ

Таким образом, имитационное моделирование дискретных систем со стохастическим характером функционирования предполагает использование ряда типовых процедур, обеспечивающих реализацию соответствующих имитационных моделей:

- 1)** выработка (генерирование) случайных величин: равномерно распределенных; с заданным законом распределения;
- 2)** формирование потоков заявок и имитация обслуживания;
- 3)** организация очередей заявок;
- 4)** организация службы времени;
- 5)** сбор и статистическая обработка результатов моделирования.

# Достоинства ИМ

- 1. Возможность объединять традиционные математические и экспериментальные компьютерные методы.**
- 2. Высокая эффективность применения: при анализе линейного, нелинейного, динамического программирования, методов исследования операций, вычислительных методов — более чем в 60 % случаев прибегают к ИМ, так как ИМ позволяет получать ответы в терминах, понятных и привычных для пользователя.**
- 3. Возможность исследовать объекты, физическое моделирование которых экономически нецелесообразно или невозможно.**
- 4. Испытания объектов, связанных с опасностью для здоровья человека.**

5. Исследование еще не существующих объектов.
6. Исследование труднодоступных или ненаблюдаемых объектов.
7. Исследование плохо формализуемых экологических, социальных или экономических систем.
8. Исследование объектов практически любой сложности при большой детализации и снятии ограничений на вид функций распределения случайных величин.

# Недостатки ИМ

- 1. Самым существенным недостатком является невозможность получить точечную оценку исследуемых характеристик, так как в результате ИМ можно оценить только математическое ожидание и дисперсию.**
- 2. Потеря общности результатов, так как при ИМ оценивается конкретная система.**
- 3. Трудности оптимизации, так как ИМ отвечает на вопрос, «что будет в случае, если..?», но не определяет, будут ли эти условия наилучшими.**
- 4. Трудности с оценкой адекватности ИМ.**
- 5. Создание ИМ сложной системы длительно по времени и требует значительных денежных средств.**

## 2. Имитационное агентное моделирование

**Агентное моделирование** (АМ) – это новый подход к моделированию систем, содержащих автономных и взаимодействующих агентов.

Выясним более подробно, что такое **агенты**, их классификацию, рассмотрим архитектуру мультиагентных систем, сферы применения мультиагентных систем, различие между дискретно-событийным и агентным моделированием.

## 2. Имитационное агентное моделирование



**Агенты** – это автономные объекты, которые могут самостоятельно реагировать на внешние события и выбирать соответствующие действия.

Поскольку агенты применяются в самых различных областях, то **понятие агента для каждого автора имеет свою смысловую нагрузку.**

**В зависимости от среды обитания агента наделяют конкретным набором свойств.**

Существует большое количество типов агентов: автономные агенты, мобильные агенты, персональные ассистенты, интеллектуальные агенты, социальные агенты и т.д.



## 2. Имитационное агентное моделирование

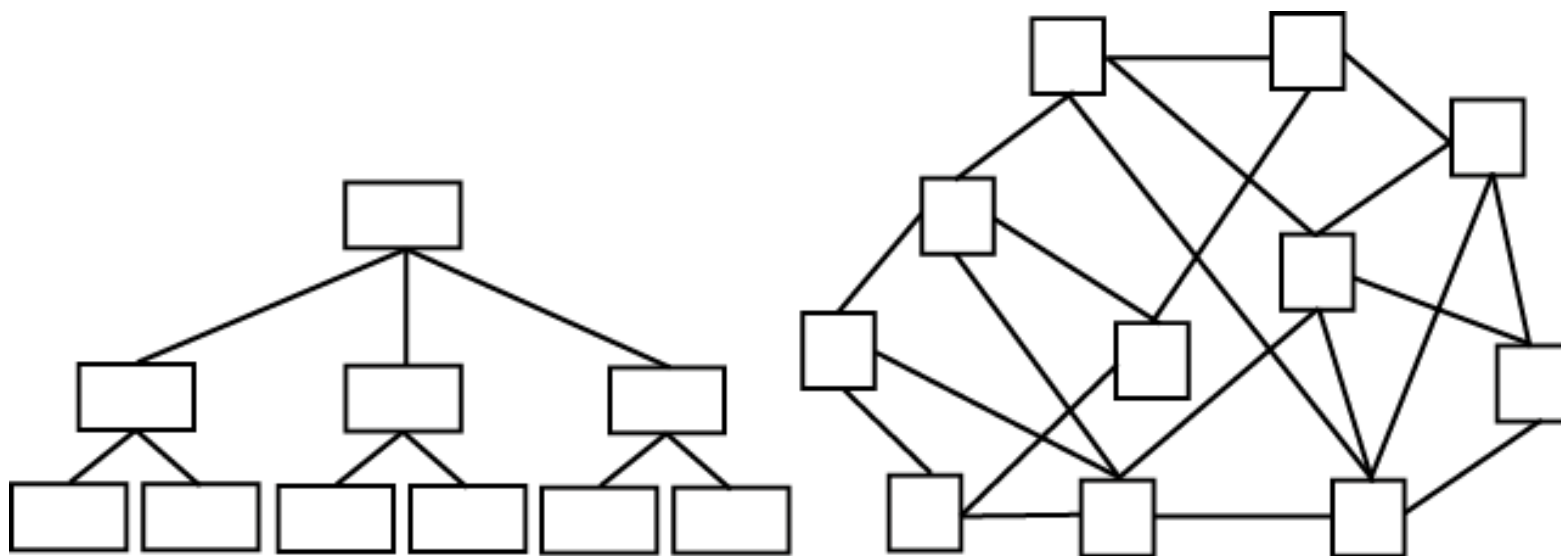


Перечислим свойства агента:

- адаптивность (способностью обучаться);
- автономность;
- взаимодействие с другими агентами, причём агент может играть разные роли при взаимодействии с одним и тем же агентом;
- способность к рассуждениям;
- коммуникативность (агенты могут общаться с другими агентами);
- мобильность (передача кода агента с одного сервера на другой).

## 2. Имитационное агентное моделирование

Таким образом, агент должен взаимодействовать **со средой** или **другими агентами**. Агенты **децентрализованы**, а **глобальное состояние** моделируемой системы можно вывести из взаимодействия агентов, зная индивидуальную логику поведения каждого из них.



Традиционное и мультиагентное построение модели

## 2. Имитационное агентное моделирование



Для исследования агентного подхода потребуется:

- определить сферу применимости агентного подхода;
- выявить преимущества и недостатки агентного моделирования;
- сравнить агентный подход с традиционными формами имитационного моделирования;
- построить математическую модель для разрабатываемой системы;
- рассмотреть известные аналоги и результаты их применения.
- рассмотреть класс существующих задач, решаемых с помощью агентного подхода.

## 2. Имитационное агентное моделирование

Какие задачи могут возникнуть при построении агентной модели? Приведём основные:

- *Среда моделирования.*
- *Методы решения экстремальных задач.*
- *Способ задания агента.*
- *Способ взаимодействия с окружающей средой.*
- *Способ взаимодействия друг с другом.*
- *Способ задания поведения агента.*
- *Способ изменения поведения агента.*
- *Механизм принятия решений.*
- *Механизм вывода в условиях неопределённости.*
- *Механизм пополнения знаний.*

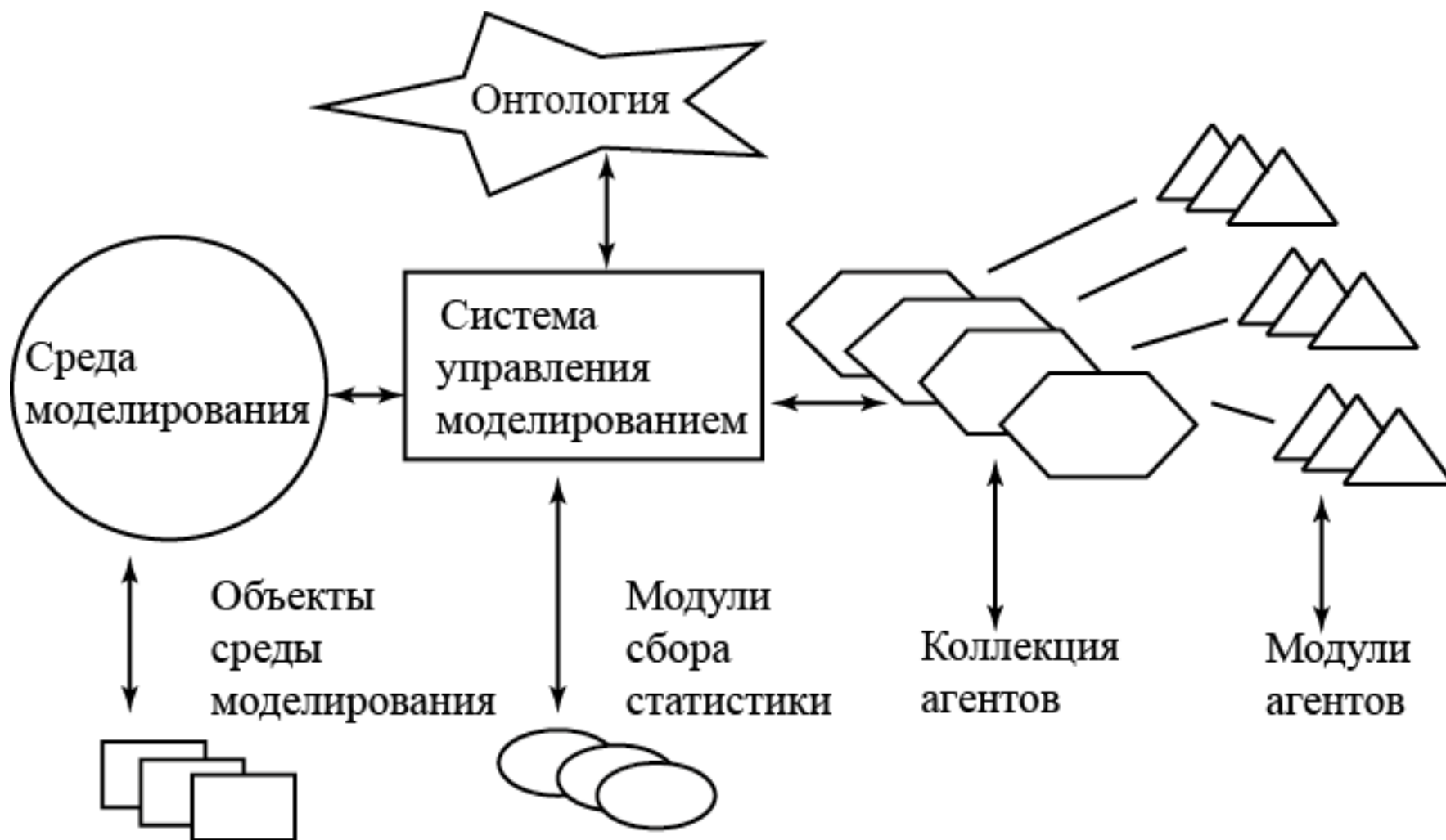
## 2. Имитационное агентное моделирование



- *Средства адаптации.*
- *Механизм продвижения времени.*
- *Условия моделирования.*
- *Механизмы сбора статистики.*
- *Методы отладки моделирования.*
- *Способ задания модели.*
- *Методы распараллеливания имитационного процесса.*
- *Определение общей архитектуры приложения.*

## 2. Имитационное агентное моделирование

Рассмотрим общую схему системы агентного моделирования:



# 2. Имитационное агентное моделирование

Модульная архитектура агента:



Искусственные нейронные сети

Теория графов

Контейнер для внешних компонентов

Экспертные системы

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- В заключение отметим, что ведущую роль в изучении сложных динамических процессов получило ИМ как инструмент выявления закономерностей явлений, имеющих протяжённость во времени.
- Новый инструмент ИМ – агентный подход – позволяет взглянуть на проблему по индуктивному методу – от более частного к более общему. Это позволит получать информацию об общих глобальных законах исследуемой модели, базируясь на активности её составных элементов. Предложенный способ позволит выявить имплицитированные зависимости и закономерности, которые вряд ли обнаружат другие методы исследования.



# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Однако создавать агентные модели под каждую конкретную задачу – дело не только дорогостоящее, но и неэффективное. Причина кроется хотя бы в том, что представляемая модель управляется рядом эвристик, которые невозможно не просто доказать формально, но и предположить вплоть до этапа имитационного прогона. Алгоритмы вывода, поведение и методы коммуникации агентов постоянно уточняются по ходу процесса моделирования.
- Выходом из этой проблемы служит построение мультиагентной системы (МАС) имитационного моделирования.