Заглавная

Не стесняйтесь пользоваться страницами обсуждения! Может, кому-то понятно как раз то, что непонятно вам.

Версия вики в pdf на **14.01.13**: скачать (вы всегда можете скомпилировать более актуальную версию если у вас есть Python, скачав скрипт и набрав в консоли

python main.py -c -u http://ru.itmodeling.wikia.com/

).

При написание формул с нуля, очень полезен этот сайт:latex online .

Удачи!

Список вопросов по моделированию 2012

1. Теория моделирования. Система и элементы системы. Понятие модели. Цели моделирования
2. Подходы к исследованию систем. Стадии разработки моделей
3. Классификация видов моделирования систем. Физические и математические модели
4. Математическая модель. Основные этапы построения математической модели. Требования к математической модели. Уравнение <вход-выход>
5. Уравнение состояния. Общесистемные и конструктивные модели. Этапы построения модели функционирования системы
6. Дискретно-детерминированные модели. Автоматы Мили и Мура
7. Теория массового обслуживания. Случайный процесс
8. Марковский случайный процесс. Поток событий
9. Уравнение Колмогорова для вероятностей состояний. Финальные вероятности состояний
10. Задачи теории массового обслуживания. Классификация систем массового обслуживания
11. Математические модели простейших систем массового обслуживания
12. Одноканальная и N - канальная СМО с отказами. Характеристики эффективности СМО
13. Сети Петри. Структура и правила выполнения сетей Петри
14. Обобщенные модели (А-схемы)
15. Классический и системный подходы к моделированию систем
16. Типовые математические схемы моделирования. Непрерывно-детерминированные модели (D-схемы)
17. Дискретно-детерминированные модели (F- схемы). Дискретно-стохастические модели (P- схемы)
18. Непрерывно-стохастические модели (Q -схемы). Сетевые модели (N- схемы). Комбинированные модели (А- схемы)
19. Имитационное моделирование (ИМ). Области использования и достоинства ИМ. Проблемы ИМ
20. Теоретические основы метода статистического моделирования. Предельные теоремы Бернулли, Чебышева. Центральная предельная теорема
21. Применение теории массового обслуживания при моделировании систем. Понятие системы массового обслуживания (СМО), классификация СМО, основные задачи теории СМО
22. Основные понятия теории СМО. Потоки событий. Математическая модель потока событий. Математическая модель простейшего пуассоновского потока. Свойства простейшего пуассоновского потока: ординарность, отсутствие последействия, стационарность
23. Оценка точности и достоверности результатов моделирования
24. Классификация языков и систем моделирования
25. Качественные методы моделирования систем
26. Системная динамика как методология и инструмент исследования сложных процессов
27. Методы интеллектуального анализа данных
28. Вложенные сети Петри и моделирование распределенных систем
29. Моделирование систем на основе анализа размерностей и теории подобия
30. Анализ сложных систем с помощью моделей клеточных автоматов
31. Сравнение аналитического и системного подходов
32. Аналитические («левополушарные») и синтетические («правополушарные») типы информационных процессов
33. Классификация информации.
34. Характерные черты информационных процессов с положительной обратной связью
35. Кибернетическая модель нервной сети в качестве информационной системы
36. Моделирование случайных воздействий
37. Особенности реализации процессов с использованием Q-схем
38. Свойства и понятия языков имитационного моделирования. Классификация языков имитационного моделирования
39. Стратегическое планирование машинных экспериментов с моделями систем
40. Тактическое планирование машинных экспериментов с моделями систем

Заглавная

Не стесняйтесь пользоваться страницами обсуждения! Может, кому-то понятно как раз то, что непонятно вам.

Версия вики в pdf на **14.01.13**: скачать (вы всегда можете скомпилировать более актуальную версию если у вас есть Python, скачав скрипт и набрав в консоли

python main.py -c -u http://ru.itmodeling.wikia.com/

).

При написание формул с нуля, очень полезен этот сайт:latex online .

Удачи!

Список вопросов по моделированию 2012

1. Теория моделирования. Система и элементы системы. Понятие модели. Цели моделирования
2. Подходы к исследованию систем. Стадии разработки моделей
3. Классификация видов моделирования систем. Физические и математические модели
4. Математическая модель. Основные этапы построения математической модели. Требования к математической модели. Уравнение <вход-выход>
5. Уравнение состояния. Общесистемные и конструктивные модели. Этапы построения модели функционирования системы
6. Дискретно-детерминированные модели. Автоматы Мили и Мура
7. Теория массового обслуживания. Случайный процесс
8. Марковский случайный процесс. Поток событий
9. Уравнение Колмогорова для вероятностей состояний. Финальные вероятности состояний
10. Задачи теории массового обслуживания. Классификация систем массового обслуживания
11. Математические модели простейших систем массового обслуживания
12. Одноканальная и N - канальная СМО с отказами. Характеристики эффективности СМО
13. Сети Петри. Структура и правила выполнения сетей Петри
14. Обобщенные модели (А-схемы)
15. Классический и системный подходы к моделированию систем
16. Типовые математические схемы моделирования. Непрерывно-детерминированные модели (D-схемы)
17. Дискретно-детерминированные модели (F- схемы). Дискретно-стохастические модели (P- схемы)
18. Непрерывно-стохастические модели (Q -схемы). Сетевые модели (N- схемы). Комбинированные модели (А- схемы)
19. Имитационное моделирование (ИМ). Области использования и достоинства ИМ. Проблемы ИМ
20. Теоретические основы метода статистического моделирования. Предельные теоремы Бернулли, Чебышева. Центральная предельная теорема
21. Применение теории массового обслуживания при моделировании систем. Понятие системы массового обслуживания (СМО), классификация СМО, основные задачи теории СМО
22. Основные понятия теории СМО. Потоки событий. Математическая модель потока событий. Математическая модель простейшего пуассоновского потока. Свойства простейшего пуассоновского потока: ординарность, отсутствие последействия, стационарность
23. Оценка точности и достоверности результатов моделирования
24. Классификация языков и систем моделирования
25. Качественные методы моделирования систем
26. Системная динамика как методология и инструмент исследования сложных процессов
27. Методы интеллектуального анализа данных
28. Вложенные сети Петри и моделирование распределенных систем
29. Моделирование систем на основе анализа размерностей и теории подобия
30. Анализ сложных систем с помощью моделей клеточных автоматов
31. Сравнение аналитического и системного подходов
32. Аналитические («левополушарные») и синтетические («правополушарные») типы информационных процессов
33. Классификация информации.
34. Характерные черты информационных процессов с положительной обратной связью
35. Кибернетическая модель нервной сети в качестве информационной системы
36. Моделирование случайных воздействий
37. Особенности реализации процессов с использованием Q-схем
38. Свойства и понятия языков имитационного моделирования. Классификация языков имитационного моделирования
39. Стратегическое планирование машинных экспериментов с моделями систем
40. Тактическое планирование машинных экспериментов с моделями систем

Теория моделирования. Система и элементы системы. Понятие модели. Цели моделирования

Моделирование

Моделированием называется замещение одного объекта, называемого системой, другим объектом, называемым моделью, и проведение экспериментов с моделью (или на модели), исследование свойств модели, опираясь на результаты экспериментов с целью получения информации о системе.

Моделирование позволяет исследовать такие системы, прямой эксперимент с которыми:

а) трудно выполним;

б) экономически невыгоден;

в) вообще невозможен.

Моделирование - важнейшая сфера применения средств вычислительной техники, когда положения теории моделирования используются в различных областях науки, производства и техники. В то же время сами средства вычислительной техники являются объектами моделирования на этапе проектирования новых и модернизации старых вычислительных систем, при анализе возможности использования вычислительных систем в различных приложениях.

Система

Объектом исследования в теории моделирования является система. Система — это совокупность взаимосвязанных элементов, объединенных в одно целое для достижения некоторой цели, которая определяется назначением системы. При этом элемент — это минимально неделимый объект, рассматриваемый как единое целое. Если система — это совокупность взаимосвязанных элементов, то комплекс — это совокупность взаимосвязанных систем.

Элемент, система, комплекс — понятия относительные, т.к. любой элемент, если его расчленить, если его не рассматривать как неделимый объект, то он становится системой, и наоборот любой комплекс становится системой, если входящие в его состав системы рассматривать как элементы.

Структура и функции.

Для описания системы необходимо определить ее структурную и функциональную организацию.

Структурная организация (структура) системы задается перечнем элементов, входящих в состав системы, и конфигурацией связей между ними.

Для описания структуры системы используются способы:

а) графический — в форме графа, где вершины графа соответствуют элементам системы, а дуги — связям между элементами (частный случай графического задания структуры системы — это форма схем);

б) аналитический, когда задаются количество типов элементов системы, число элементов каждого типа и матрицы связей между ними.

Функциональная организация (функции) системы — это правила достижения поставленной цели, правила, описывающие поведение системы на пути к цели её назначения.

Способами описания функций системы являются:

а) алгоритмический — в виде последовательности шагов, которые должна выполнять система;

б) аналитический — в виде математических зависимостей;

в) графический — в виде временных диаграмм;

г) табличный — в виде таблиц, отображающих основные функциональные зависимости.

Свойства системы, значения переменных, описывающих систему, в конкретные моменты времени называются **состояниями системы**.

Процесс (*продвижение* – лат.) функционирования системы можно рассматривать как последовательную смену её состояний во времени, другими словами, процесс функционирования системы — это переход её из одного состояния в другое.

Система переходит из одного состояния в другое, если изменяются значения переменных, описывающих состояние системы. Причина изменения переменных состояния, а значит, причина, вызывающая переход системы из состояния в состояние называется событием. Событие является следствием начала или окончания какого-то действия. Например, если в качестве системы рассмотреть кассу в магазине и под состоянием системы понимать количество покупателей у кассы, то в такой системе можно выделить следующие действия и соответствующие события.

Действия:	События:
"поход (ходьба) в кассу"	"прибытие";
"ожидание"	"уход из очереди",
	"начало обслуживания";
"обслуживание"	"окончание обслуживания",
	"уход из системы".

Понятия "система" и "процесс функционирования" тесно взаимосвязаны и часто рассматриваются как эквивалентные понятия.

Понятие модели, цели моделирования

Модель - некоторый виртуальный образ реального или другого виртуального объекта, создаваемый для его изучения.

Моделирование - это замещение одного объекта (оригинала) другим (моделью) и фиксация и изучение свойств модели. Замещение производится с целью упрощения, удешевления, ускорения изучения свойств оригинала.

В общем случае объектом-оригиналом может быть естественная или искусственная, реальная или воображаемая система. Она имеет множество параметров S0 и характеризуется определёнными свойствами. Количественной мерой свойств системы служит множество характеристик Y0, система проявляет свои свойства под влиянием внешних воздействий

Множество параметров S и их значений отражает её внутреннее содержание - структуру и принципы функци-онирования. Характеристики S - это в основном её внешние признаки, которые важны при взаимодействии с другими S.

Познание любой системы (S) сводится по существу к созданию её модели. Перед изготовлением каждого устройства или сооружения разрабатывается его модель - проект. Любое произведение искусства является моделью, фиксирую-щее действительность.

Достижения математики привели к распространению математических моделей различных объектов и процессов. Подмечено, что динамика функционирования разных по физической природе систем однотипными зависимостями, что позволяет моделировать их на ЭВМ.

На качественно новую ступень поднялась моделирование в результате разработки методологии имитационного моделирования на ЭВМ.

Сейчас трудно указать область человеческой деятельности, где бы применялось моделирование. Разработаны модели производства автомобилей, выращивания пшеницы, функционирования отдельных органов человека, жизнедеятельности Азовского моря, атомного взрыва, последствий атомный войны.

Специалисты считают, что моделирование становится основной функцией ВС. На практике широко используются АСУ технологическими процессами организационно-экономическими комплексами, процессами проектирования, банки данных и знаний. Но любая из этих систем нуждается в информации об управляемом объекте и модели управляемого объект, в моделировании тех или иных управляющих решений.

Сами ВС как сложные и дорогостоящие технические системы могут являться объектами моделирования.

Обычно процесс разработки сложной системы осуществляется итерационно с использованием моделирования проектных решений. Если характеристики не удовлетворяют предъявленным требованиям, то по результатам анализа производят корректировку проекта, затем снова проводят моделирование.

При анализе действующих систем с помощью моделирования определяют границы работоспособности системы, вы-полняют имитацию экспериментальных условий, которые могут возникнуть в процессе функционирования системы. Искусственное создание таких условий на действительной системе затруднено и может привести к катастрофическим последствиям.

Применение моделирования может быть полезным при разработке стратегии развития ВС, её усовершенствования при создании сетей ЭВМ.

Подходы к исследованию систем. Стадии разработки моделей

Подходы к исследованию систем. Стадии разработки моделей

Подходы к исследованию систем (нашел только для систем управления (в тексте обозначены как СУ), вроде так и должно быть, но хрен знает)

1. **Диалектический подход** к исследованию. Базовым законом этого учения выступает закон единства и борьбы противоположностей, а основополагающим принципом - принцип всеобщих связей явлений. Это значит, что для изучения какого-либо предмета необходимо рассмотреть все его стороны и связи. При этом развитие, как общий процесс, проходит периодически повторяющиеся ступени, но каждый раз на более высоком уровне и все это осуществляется по спирали. Спиралеобразное движение обеспечивает постоянное накопление знаний и достижение с течением времени новых уровней развития. Помимо закона единства и борьбы противоположностей диалектики в ходе познания следует руководствоваться такими законами, как переход количества в качество, отрицание отрицания, реализуя при исследовании принципы восхождения от абстрактного к конкретному, единства анализа и синтеза, логического и исторического, выявления в объекте разнокачественных связей и их взаимодействия.
2. **Процессный подход** к исследованию. Он рассматривает управление как непрерывное выполнение комплекса определенных взаимосвязанных между собой видов деятельности и общих функций управления. Причем выполнение каждой работы и общих функций управления здесь также рассматриваются в виде процесса, т.е. как совокупность взаимосвязанных непрерывно выполняемых действий, преобразующих некоторые входы ресурсов, информации и т.п. в соответствующие выходы, результаты.
3. **Ситуационный подход** к исследованию. Основная принципиальная особенность рассматриваемого подхода - ситуация, т.е. конкретные обстоятельства, которые оказывают влияние на СУ в рассматриваемый момент времени. Изучая сложившуюся ситуацию можно лучше понять как обусловившие ее причины, так и воздействия, которые будут в большей степени способствовать достижению целей исследования СУ в конкретных условиях и обстоятельствах.
4. **Функциональный подход** к исследованию. Тесно взаимосвязанным с диалектическим подходом является функциональный подход. Его сущность состоит в рассмотрении исследуемой СУ или ее составляющих элементов только с позиций внешней среды. При этом исследуемая СУ представляется в виде "черного ящика". Это позволяет рассматривать отношения системы с другими системами и внешней средой абстрактно, не вникая в процессы, происходящие непосредственно в исследуемой системе.
5. **Рефлексивный подход** к исследованию. От слова рефлексия (обратная связь или же самопознание, осмысление своих действий и поступков). Больше ничего не понятно и слишком сложно и много. Но в двух словах, у нас есть функция поведения внешней среды и функция поведения объекта. Объект взаимодействует со средой, а затем по своей функции поведения как то изменяется или что то делает, параллельно в среде тоже согласно ее функции поведения происходят какие то изменения. Как то так..
6. **Системный подход** к исследованию. Системный подход, будучи неразрывно связанным с фундаментальными идеями диалектики и диалектического подхода, вместе с тем имеет свою сущность и выступает как отдельный методологический подход. Он предполагает, что объект исследуется как целостная совокупность составляющих его подсистем, элементов и во всем многообразии выявленных свойств и связей внутри объекта, а также между объектом и внешней средой.

Стадии разработки моделей

1. Формулировка проблемы
2. Формализация
3. Постановка целей и задач моделирования
4. Выбор численного аппарата и проведение вычислений/решение уравнений
5. Отладка и корректировка модели
6. Оценка точности и интерпритация результатов
7. Комплексирование (встраивание решений в старые системы)

Классификация видов моделирования систем. Физические и математические модели

Классификация видов моделирования систем. Физические и математические модели

Классификация видов моделирования:

1. Феноменологические и абстрактные модели
2. Активные и пассивные модели
3. Статические и динамические модели
4. Дискретные и непрерывные модели
5. Детерминированные и стохастические модели
6. Функциональные и объектные модели

Физическая и математическая модель

Модель — это объект-заместитель объекта-оригинала, обеспечивающий изучение некоторых свойств оригинала. Замещение одного объекта другим с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала с помощью объекта-модели называется **моделированием**. Под **математическим моделированием** будем понимать процесс установления соответствия данному реальному объекту некоторого математического объекта, называемого **математической моделью**, и исследование этой модели, позволяющее получать характеристики рассматриваемого реального объекта. Вид математической модели зависит как от природы реального объекта, так и задач исследования объекта и требуемой достоверности и точности решения этой задачи

Физической моделью процесса или явления называется его математическая модель, составленная из идеальных физических объектов. Изучением физических моделей самих по себе занимается теоретическая физика.

Простейшей физической моделью в классической механике является материальная точка. Несколько более сложные модели: идеальный газ, идеальная жидкость.

Математическая модель. Основные этапы построения математической модели. Требования к математической модели. Уравнение вход-выход

Математическая модель. Основные этапы построения математической модели. Требования к математической модели. Уравнение <вход-выход>

Модель — это объект-заместитель объекта-оригинала, обеспечивающий изучение некоторых свойств оригинала. Замещение одного объекта другим с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала с помощью объекта-модели называется **моделированием**. Под**математическим моделированием** будем понимать процесс установления соответствия данному реальному объекту некоторого математического объекта, называемого **математической моделью**, и исследование этой модели, позволяющее получать характеристики рассматриваемого реального объекта. Вид математической модели зависит как от природы реального объекта, так и задач исследования объекта и требуемой достоверности и точности решения этой задачи.

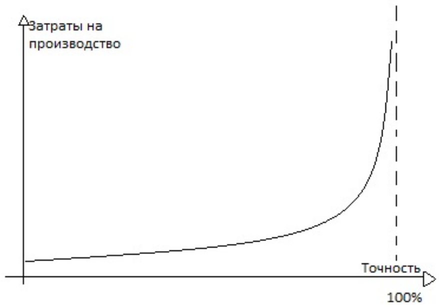
Основные этапы построения математической модели (¡¡¡хрен знает, по сути то же самое, что и этапы моделирования в целом, не знаю, зачем выносить это еще одним вопросом!!!)

1. Формулировка проблемы
2. Формализация
3. Постановка целей и задач моделирования
4. Выбор численного аппарата и проведение вычислений/решение уравнений
5. Отладка и корректировка модели
6. Оценка точности и интерпритация результатов
7. Комплексирование (встраивание решений в старые системы)

Требования к математической модели

1. *Адекватность* - способность отображать заданные свойства объекта с погрешностью не выше заданной.
1. *Точность* - оценивается степенью совпадения значений параметров действительного объекта и рассчитанных на математических моделях.
1. У*ниверсальность* - характеризует полноту отображения в модели свойств реального объекта.
1. *Экономичность* - обычно характеризуется необходимыми затратами машинной памяти и времени. Иногда оценивается по количеству операций необходимых при одном обращении к модели.

Требования универсальности, точности, адекватности с одной стороны и экономичности с другой противоречивы. Это обуславливает работу целого спектра моделей отличающихся теми или иными свойствами.

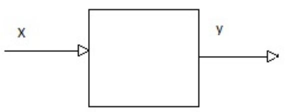


Картинка, кроме зависимости точности от вложенных бабок, отображает следствие информационного закона отражения: для любой структуры образований сумма порядков и хаосов - величина постоянная.

$$I_{\sum} + S = log_2 m(a)$$

Где Isum - аддитивная негэнтропия, а S - энтропия

Уравнение <вход-выход>



M=f(x, y)

Задачи у моделирования могут быть разными:

1. По известным x и M найти y, решением чего будет y=f '(x) <---- Прямая задача
2. По известным y, M найти входные данные x, решением чего будет x=f '(-1/y) <---- Обратная задача
3. По известным x и y найти M <---- Задача настройки модели

Первые две задачи - задачи белого ящика, т.е. мы знаем, как функционирует исследуемая система

Последняя задача - задача черного ящика, которая с помощью гипотез сводится к задаче серого ящика (мы знаем как примерно функционирует часть системы, которой достаточно для получения адекватных результатов моделирования)

Теория 5

http://ru.awmdkb.wikia.com/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%81%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B_%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_(%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8)

http://drive.ispu.ru/elib/lebedev/14.html

Общесистемная и системная модели обладают высокой степенью общности и позволяют выявить общие закономерности, которые присуще всем или широкому классу систем. Они важны для теоретических исследований. На практике используют, так называемые, конструктивные модели. Конструктивная модель представляет собой алгоритм, пользуясь которым можно определить значение одних переменных, характеризующих систему, по заданным или измеренным значениям других переменных. Построение математических моделей технических объектов представляет собой цепочку преобразований:

Общесистемная модель-> Системная модель->

Конструктивная модель ->Машинная модель.
При построении математических моделей процессов функционирования систем применяют несколько подходов:

1. непрерывно-детерминированный подход (дифференциальные уравнения);

2. дискретно-детерминированный подход (цифровые автоматы);

3. дискретно-стохастический подход (вероятностные автоматы);

4. непрерывно-стохастический подход (системы массового обслуживания);

5. универсальный или обобщенный подход (агрегативные системы).

Дискретно-детерминированные модели. Автоматы Мили и Мура

Дискретно-детерминированные модели. Автоматы Мили и Мура

Особенности дискретно - детерминированного подхода на этапе формализации процесса функционирования систем рассмотрим на примере использования в качестве математического аппарата теории автоматов. Теория автоматов – это раздел теоретической кибернетики, в котором изучаются математические модели – автоматы. На основе этой теории система представляется в виде автомата, перерабатывающего дискретную информацию и меняющего свои внутренние состояния лишь в допустимые моменты времени. Понятие «автомат» варьируется в зависимости от характера конкретно изучаемых систем, от принятого уровня абстракции. ДДМ являются предметом рассмотрения теории автоматов (ТА). ТА - раздел теоретической кибернетики, изучающей устройства, перерабатывающие дискретную информацию и меняющего свои внутренние состояния лишь в допустимые моменты времени.

Конечный автомат имеет множество внутренних состояний и входных сигналов, являющихся конечными множествами. Автомат задаётся F- схемой:

$$F=\langle Z, X, Y, \phi, \psi, z0\rangle, \qquad (1)$$

где z,x,y - соответственно конечные множества входных, выходных сигналов (алфавитов) и конечное множество внутренних состояний (алфавита). z0 - начальное состояние; ϕ (z,x) - функция переходов; ψ (z,x) - функция выхода. Автомат функционирует в дискретном автоматном времени, моментами которого являются такты, т.е. примыкающие друг к другу равные интервалы времени, каждому из которых соответствуют постоянные значения входного, выходного сигнала и внутреннего состояния. Абстрактный автомат имеет один входной и один выходной каналы.

В момент t, будучи в состоянии z(t), автомат способен воспринять сигнал x(t) и выдать сигнал $y(t)= \psi [z(t),x(t)]$, переходя в состояние $z(t+1)= \phi [z(t),x(t)]$. Абстрактный конечный автомат (КА) в начальном состоянии z0 принимая сигналы x(0), x(1), x(2) … (входное слово) выдаёт сигналы y(0), y(1), y(2)… (выходное слово).

Существуют F- автомат 1-ого рода (**Мили**), функционирующий по схеме:

$$z(t+1)= \phi [z(t),z(t)],\ t=0,1,2\ldots \qquad (1)$$

$$y(t)= \psi [z(t),x(t)],\ t=0,1,2\ldots \qquad (2)$$

F-автомат 2-ого рода:

$$z(t+1)= \phi [z(t),z(t)],\ t=0,1,2\ldots \qquad (3)$$

$$y(t)= \psi [z(t),x(t-1)],\ t=1,2,3\ldots \qquad (4)$$

Автомат 2-ого рода, для которого

$$y(t)= \psi [z(t)],\ t=0,1,2,\ldots \qquad (5)$$

т.е. функция выходов не зависит от входной переменной x(t), называется **автоматом Мура**.

По числу состояний конечные автоматы бывают с памятью и без памяти. Автоматы с памятью имеют более одного состояния, а автоматы без памяти (комбинационные или логические схемы) обладают лишь одним состоянием. При этом согласно (2), работа комбинационной схемы заключается в том, что она ставит в соответствие каждому входному сигналу x(t) определённый выходной сигнал y(t), т.е. реализует логическую функцию вида:

$$y(t)= \psi [x(t)],\ t=0,1,2,\ldots$$

Эта функция называется булевой, если алфавиты X и Y, которым принадлежат значения сигналов x и y состоят из 2-х букв.

По характеру отсчёта времени (дискретному) F- автоматы делятся на синхронные и асинхронные. В синхронных автоматах моменты времени, в которые автомат "считывает" входные сигналы, определяются принудительно синхронизирующими сигналами. Реакция автомата на каждое значение входного сигнала заканчивается за один такт синхронизации. Асинхронный F- автомат считывает входной сигнал непрерывно и поэтому, реагируя на достаточно длинный водной сигнал постоянной величины x, он может, как это следует из 1-5, несколько раз изменить своё состояние, выдавая соответствующее число выходных сигналов, пока не перейдёт в устойчивое.

Чтобы задать конечный F - автомат необходимо описать все элементы множества $F = (Z, X, Y, \phi, \psi, z_0)$т. е. входной, внутренний и выходной алфавиты, а также функции переходов и выходов, причем среди множества состояний необходимо выделить состояние , z_0 в котором автомат находился в момент времени t=0. Существует несколько способов задания работ F - автоматов, но наиболее часто используются табличный, графический и матричный.

В табличном способе задания используется таблицы переходов и выходов, строки которых соответствуют входным сигналам автомата, а столбцы - его состояниям. При этом обычно 1-ый столбец слева соответствует начальному состоянию z0. На пересечении i-ой строки и j-ого столбца таблицы переходов помещается соответствующее значение функции переходов, а в таблице выходов - функции выходов. Для F- автомата Мура обе таблицы можно совместить, получив т.н. отмеченную таблицу переходов, в которой над каждым состоянием zk автомата, обозначающим столбец таблицы, стоит соответствующий этому состоянию, согласно (5), выходной сигнал.

При другом способе задания конечного автомата используется понятие направленного графа. Граф автомата представляет собой набор вершин, соответствующих различным состояниям автомата и соединяющих вершин дуг графа, соответствующих тем или иным переходам автомата. Если входной сигнал xk вызывает переход из состояния zi в состояние zj, то на графе автомата дуга, соединяющая вершину zi с вершиной zj обозначается xk. Для того, чтобы задать функцию переходов, дуги графа необходимо отметить соответствующими выходными сигналами. Для автома-тов Мили эта разметка производиться так: если необходимо отметить соответствующими выходными сигналами. Для автоматов Мили эта разметка производится так: если входной сигнал xk действует на состояние zi, то согласно сказанному получается дуга, исходящая из zi¬ и помеченная xk; эту дугу дополнительно отмечают выходным сигналом y. Для автомата Мура аналогичная разметка графа такова: если входной сигнал xk, действуя на некоторое состояние автомата, вызывает переход в состояние zj, то дугу, направленную в zj и помеченную xk, дополнительно отмечают выходным сигналом y. На рис. 1 приведены заданные ранее таблицами F- автоматы Мили F1 и Мура F2 соответственно.

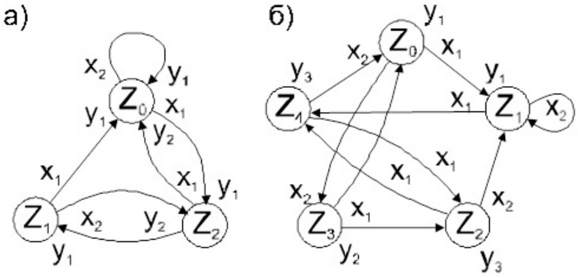


Рисунок 1. Автомат Мили (а) и Мура (б)

При решении задач моделирования часто более удобной формой является матричное задание конечного автомата. При этом матрица соединений автомата есть квадратная матрица C=|| cij ||, строки которой соответствуют исходным состояниям, а столбцы - состояниям перехода. Элемент cij=xk/yS в случае автомата Мили соответствует входному сигналу xk, вызывающему переход из состояния zi в состояние zj и выходному сигналу yS, выдаваемому при этом переходе. Для автомата Мили F1, рассмотренного выше, матрица соединений имеет вид:

$$C_1 = \begin{pmatrix} x_2/y_1 & - & x_1/y_1 \\ x_1/y_1 & - & x_2/y_2 \\ x_1/y_2 & x_2/y_1 & - \end{pmatrix}$$

Для F- автомата Мура элемент cij равен множеству входных сигналов на переходе (zizj), а выход описывается вектором выходов:

i-ая компонента которого выходной сигнал, отмечающий состояние zi

$$y = \begin{bmatrix} \Psi(z_0) \\ \Psi(z_1) \\ \ldots\ldots \\ \Psi(z_k) \end{bmatrix}$$

Теория массового обслуживания. Случайный процесс

Теория массового обслуживания. Случайный процесс

Теория массового обслуживания (теория очередей) — раздел теории вероятности, целью исследований которого является рациональный выбор структуры системы обслуживания и процесса обслуживания на основе изучения потоков требований на обслуживание, поступающих в систему и выходящие из неё, длительности ожидания и длины очередей. В теории массового обслуживания используются методы теории вероятностей и математической статистики.

Предмет теории массового обслуживания - установление зависимости между характером потока заявок, производительностью отдельного канала, числом каналов и успешностью (эффективностью) обслуживания.

В качестве **характеристик эффективности обслуживания** могут применяться различные величины и функции, например: средний процент заявок, получающих отказ и покидающих систему необслуженными; среднее время «простоя» отдельных каналов и системы в целом; среднее время ожидания в очереди; вероятность того, что поступившая заявка немедленно будет принята к обслуживанию; закон распределения длины очереди и т. д. Каждая из этих характеристик описывает, с той или другой стороны, степень приспособленности системы к выполнению потока заявок, иными словами - ее пропускную способность.

Примерами таких систем могут служить: телефонные станции, ремонтные мастерские, билетные кассы, справочные бюро, парикмахерские и т. п. Каждая такая система состоит из какого-то числа обслуживающих единиц - каналами обслуживания. В качестве каналов могут фигурировать: линии связи; лица, выполняющие те ли иные операции; различные приборы и т. п. Системы массового обслуживания могут быть одно и многоканальными.

Работа любой системы массового обслуживания **состоит** в выполнении поступающего на нее потока требований или заявок. Заявки поступают одна за другой в случайные моменты времени. Обслуживание поступившей заявки продолжается какое-то время, после чего канал освобождается и снова готов для приема следующей заявки. Каждая система массового обслуживания, в зависимости от числа каналов и их производительности, обладает какой-то пропускной способностью, позволяющей ей более или менее успешно справляться с потоком заявок.

Случайный процесс (случайная функция) в теории вероятностей — семейство случайных величин, индексированных некоторым параметром, чаще всего играющим роль времени или координаты.

Случайным называется процесс $u(t)$, мгновенные значения которого являются случайными величинами.

Семейство случайных величин $\xi = \{\xi 1, . . . , \xi n\}$ называется n-мерным случайным вектором, если эти величины имеют совместное распределение. Это означает, что для всех $x1, . . . , xn \in R$ определено значение вероятности $P(\xi 1 < x1, . . . \xi n < xn) = F(x1, . . . , xn)$. Данное равенство задает совместную функцию распределения n-мерного случайного вектора ξ. Рассмотрим теперь последовательность случайных величин $\xi 1, \xi 2, ...$ Данная последовательность имеет совместное распределение, если для любого $n = 1, 2, . . .$ конечный набор случайных величин $\xi 1, . . . , \xi n$ имеет совместное распределение (является n-мерным случайным вектором). Следующим шагом на пути увеличения количества рассматриваемых случайных величин естественно считать набор случайных величин, зависящих от непрерывно меняющегося параметра t.

Пусть T — счетное или несчетное множество действительных чисел.

Случайным процессом называется семейство случайных величин $\xi(t)$, $t \in T$, такое, что для каждого $n = 1, 2, . . .$ и для любых $t1, . . . , tn \in T$ случайные величины $\xi(t1), . . . , \xi(tn)$ имеют совместное распределение. Таким образом, существует вероятность

$P(\xi(t1) < x1, . . . \xi(tn) < xn) = F(x1, t1; . . . ; xn, tn).$

Данное равенство задает функцию $F(\cdot): (R \times T)^n \to [0, 1]$, которая называется '*n*'**-мерная функция распределения случайного процесса**.

http://www.resolventa.ru/data/metodstud/servtheory.pdf

Марковский случайный процесс. Поток событий

Марковский случайный процесс

Случайный процесс, протекающий в системе S, называется **марковским** (или «процессом без последействия»), если он обладает следующим свойством: для каждого момента времени вероятность любого состояния системы в будущем (при t >) зависит только от ее состояния в настоящем (при t=) и не зависит от того, когда и каким образом система пришла в это состояние (т. е. как развивался процесс в прошлом).

Другими словами, в марковском случайном процессе будущее развитие зависит только от его настоящего состояния и не зависит от «предыстории» процесса.

Рассмотрим элементарный **пример** марковского **случайного** процесса. По оси абсцисс случайным образом перемещается точка . В момент времени точка находится в начале координат и остается там в течение одной секунды. Через секунду бросается монета; если выпал герб - точка перемещается на одну единицу длины вправо, если цифра - влево. Через секунду снова бросается монета и производится такое же случайное перемещение, и т. д. Процесс изменения положения точки (или, как говорят, «блуждания») представляет собой случайный процесс с дискретным временем и счетным множеством состояний

$x_0 = 0;\ x_1 = 1;\ x_{-1} = -1;\ x_2 = 2;\ x_{-2} = -2;\ \ldots$

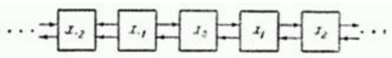


Схема возможных переходов для этого процесса.

Покажем, что этот процесс - марковский. Действительно, представим себе, что в какой-то момент времени система находится, например, в состоянии - на одну единицу правее начала координат. Возможные положения точки через единицу времени будут и с вероятностями 1/2 и 1/2; через две единицы - , , с вероятностями 1/4, ½, 1/4 и так далее. Очевидно, все эти вероятности зависят только от того, где находится точка в данный момент , и совершенно не зависят от того, как она пришла туда.

Поток событий

Потоком событий называется последовательность однородных событий, происходящих в какие-то, вообще говоря, случайные моменты времени.

Поток событий называется **простейшим потоком событий** , если он обладает следующими свойствами стационарности, отсутствия последействия и ординарности:

1. Поток событий называется **стационарным**, если вероятность появления одного или нескольких событий на участке времени длины T зависит только от длины T этого участка и не зависит от того, в каком месте оси времени этот участок располагается.

2. Поток событий называется потоком **с отсутствием последействия** (без последействия), если события, составляющие поток, появляются в случайные моменты времени независимо друг от друга.

3. Поток событий называется **ординарным**, если события, составляющие поток, происходят поодиночке, а не парами, тройками и т.д.

Интенсивностью (плотностью) потока событий называется среднее число событий, происходящих в единицу времени.

Простейший поток событий близко связан с **распределением Пуассона**.

$$P_k = \frac{(\lambda T)^k}{k!} e^{-\lambda T}, k = 0, 1, \ldots$$

Формула Пуассона

Вероятность того, что на отрезке времени длины T произойдет ровно k событий из простейшего потока с интенсивностью λ , выражается **формулой Пуассона**.

Длина отрезка времени между последовательными событиями из простейшего потока событий с интенсивностью λ является случайной величиной, распределенной по показательному (экспоненциальному) закону с параметром λ.

Плотность показательного распределения определяется по формуле

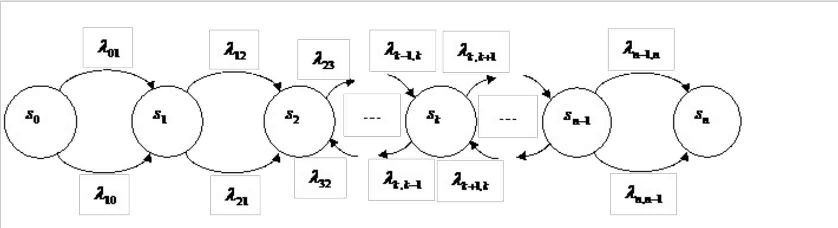
Плотность показательного распределения

Уравнение Колмогорова для вероятностей состояний. Финальные вероятности состояний

Уравнение Колмогорова для вероятностей состояний

Уравнения Колмогорова - уравнения для переходной функции марковского случайного процесса.

Исчерпывающей количественной характеристикой Марковского процесса является совокупность вероятностей состояний, т.е. вероятностей $p_i(t)$ того, что в момент t процесс будет находиться в состоянии $s_i(i = 1...n)$.



Граф состояний модели размножения и гибели

Рассмотрим, как определяются вероятности состояний по приведенному на рис. графу состояний, считая все потоки простейшими. В случайный момент времени t система может находиться в одном из состояний s_i с вероятностью $p_i(t)$. Придадим t малое приращение Δt и найдем, например, $p_2(t+\Delta t)$ - вероятность того, что в момент $t+\Delta t$ система будет в с состоянии s_2. Это может произойти, во-первых, если система в момент была в состоянии s_2 и за время t не вышла из него; во-вторых, если в момент t система была в состоянии s_1 или s_5 и за время Δt перешла в состояние s_2.

В первом случае надо вероятность $p_2(t)$ умножить на вероятность того, что за время Δt система не перейдет в состояние s_1, s_3 или s_4. Суммарный поток событий, выводящий систему из состояния s_2, имеет интенсивность $\lambda_{21}+\lambda_{23}+\lambda_{24}$. Значит, вероятность того, что за время Δt система выйдет из состояния s_2, равна $(\lambda_{21}+\lambda_{23}+\lambda_{24})\Delta t$. Отсюда вероятность первого варианта $p_{2.1}(t+\Delta t)= p_2(t)[1-(\lambda_{21}+\lambda_{23}+\lambda_{24})\Delta t]$.

Найдем вероятность перехода в состояние s_2. Если в момент t система находилась в состоянии s_1 с вероятностью $p_i(t)$, то вероятность перехода в состояние s_1 за время Δt равна $p_{2.2}(t+\Delta t)= p_1(t)\lambda_{12}\Delta t$.

Аналогично для состояния s_5. $p_{2.3}(t+\Delta t)= p_1(t)\lambda_{52}\Delta t$.

Складывая вероятности $p_{2.1}(t+\Delta t) + p_{2.2}(t+\Delta t) + p_{2.2}(t+\Delta t)$, получим.

$$p_2(t+\Delta t) = p_2(t)\left[1-(\lambda_{21}+\lambda_{23}+\lambda_{24})\Delta t\right] + p_1(t)\lambda_{12}\Delta t + p_5(t)\lambda_{52}\Delta t$$

Раскроем квадратные скобки, перенесем $p_2(t)$ в левую часть и разделим обе части на Δt:

$$\frac{p_2(t+\Delta t)-p_2(t)}{\Delta t} = p_1(t)\lambda_{12} + p_5(t)\lambda_{52} - p_2(t)(\lambda_{21}+\lambda_{23}+\lambda_{24})$$

Если устремить Δt к нулю, то слева получим производную функции $p_2(t)$:

Аналогичные уравнения можно вывести для всех остальных состояний. Получается система дифференциальных уравнений:

Эта система линейных дифференциальных уравнений дает возможность найти вероятности состояний, если задать начальные условия. В левой части каждого уравнения стоит производная вероятности i-го состояния, а в правой – сумма произведений вероятностей всех состояний, из которых ведут стрелки в данное состояние, на интенсивности соответствующих потоков событий, минус суммарная интенсивность всех потоков, выводящих систему из данного состояния, умноженная на вероятность i-го состояния.

Представим уравнения Колмогорова в общем виде

Здесь учтено, что для

состоянии, не имеющих непосредственных переходов, можно считать .

http://www.life-prog.ru/view_modelirovanie.php?id =20

Финальные вероятности состояний

Если процесс, протекающий в системе, длится достаточно долго, то имеет смысл говорить о предельном поведении вероятностей Pi(t) при t -> infinity. В некоторых случаях существуют **финальные (предельные) вероятности состояний**:

$$P_i = \lim_{t \to \infty} P_i(t), i = 1, 2, ..., n$$

не зависящие от того, в каком состоянии система находилась в начальный момент. Говорят, что в системе устанавливается предельный стационарный режим, при котором она переходит из состояния в состояние, но вероятности состояний Pi уже не меняются во времени. Система, для которой существуют финальные состояния, называется эргодической, а соответствующий случайный процесс – эргодическим.

Финальные вероятности системы могут быть получены путем решения системы линейных алгебраических уравнений, которые получаются из дифференциальных уравнений Колмогорова, если приравнять производные к нулю, а вероятностные функции состояний P0(t), P1(t),..., Pn(t) в правых частях уравнений Колмогорова заменить на неизвестные финальные вероятности P0, P1, P2,...Pn.

Таким образом, для системы с n+1 состояниями получается система n+1 линейных однородных алгебраических уравнений с n+1 неизвестными P0, P1, P2,...Pn, которые можно найти с точностью до постоянного множителя. Для нахождения их точных значений к уравнениям добавляют нормировочное условие P0 + P1 + ... Pn = 1, пользуясь которым можно выразить любую из вероятностей через другие и отбросить одно из уравнений.

http://www.stat-mat.com/?p=567

Задачи теории массового обслуживания. Классификация систем массового обслуживания

Задачи теории массового обслуживания

Задача теории массового обслуживания состоит в выработке рекомендаций по рациональному построению СМО и рациональной организации их работы с целью обеспечения высокой эффективности обслуживания при оптимальных затратах.

Главная **особенность задач** данного класса – явная зависимость результатов анализ и получаемых рекомендаций от двух внешних факторов: частоты поступления и сложности заказов (а значит и времени их исполнения).

Предмет теории массового обслуживания – это установление зависимости между характером потока заявок, производительностью отдельного канала обслуживания, числом каналов и эффективностью обслуживания.

В качестве **характеристик СМО** рассматриваются:

средний процент заявок, получающих отказ и покидающих систему не обслуженными;

среднее время «простоя» отдельных каналов и системы в целом;

среднее время ожидания в очереди;

вероятность того, что поступившая заявка будет немедленно обслужена;

закон распределения длины очереди и другие.

Классификация систем массового обслуживания

Если в СМО одновременно может обслуживаться несколько заявок, то СМО называется многоканальной, в противном случае СМО называется одноканальной. Как одноканальные СМО, так и многоканальные СМО делятся на СМО с отказами и СМО с очередью (ожиданием). В СМО с отказами заявка, поступившая в момент, когда все каналы обслуживания заняты, получает «отказ» в обслуживании и покидает СМО. В СМО с очередью заявка, поступившая в момент, когда все каналы обслуживания заняты, становится в очередь из заявок, ожидающих обслуживания. Как только один из каналов обслуживания освобождается, к обслуживанию принимается одна из заявок, стоящих в очереди.

СМО с очередью различаются по принципу построения (дисциплине) очереди. Принципом построения очереди называется схема, в соответствии с которой заявки из очереди выбираются на обслуживание. Чаще всего при этом используется:

Случайный выбор заявки из очереди;

Выбор заявки из очереди в зависимости от её приоритета;

Выбор заявки в зависимости от порядка её поступления в очередь.

В третьем случае заявки из очереди могут обслуживаться, как по схеме: «Первым пришел – первым обслуживаешься», так и по схеме: «Последним пришел – первым обслуживаешься».

СМО с очередью делятся также на СМО с неограниченным ожиданием и СМО с ограниченным ожиданием. В СМО с неограниченным ожиданием каждая заявка, поступившая в СМО, рано или поздно будет обслужена.

В СМО с ограниченным ожиданием на пребывание заявок в очереди накладываются различного рода ограничения. Эти ограничения могут касаться, например, длины очереди, времени пребывания заявки в очереди, общего времени пребывания заявки в СМО и т.п. В частности, в СМО с ограниченным ожиданием, заявка, израсходовавшая лимит времени пребывания в очереди, покидает СМО.

Математические модели простейших систем массового обслуживания

Незаконченная ботва

Это незаконченная статья. Автор отправился ботать или спать.

Или... зависит от автора.

Наверняка он будет благодарен, если вы найдёте в себе силы продолжить статью.

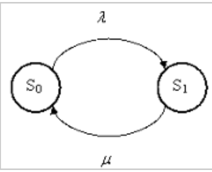
Математические модели простейших систем массового обслуживания

Одноканальная СМО с отказами http://gendocs.ru/v26445/?cc=11 с середины страницы

Дано: система имеет один канал обслуживания, на который поступает простейший поток заявок с интенсивностью λ. Поток обслуживаний имеет интенсивность μ. Заявка, заставшая систему занятой, сразу же покидает ее.

Найти: абсолютную и относительную пропускную способность СМО и вероятность того, что заявка, пришедшая в момент времени t, получит отказ.

Система при любом t > 0 может находиться в двух состояниях: S0 – канал свободен; S1 – канал занят. Переход из S0 в S1 связан с появлением заявки и немедленным началом ее обслуживания. Переход из S1 в S0 осуществляется, как только очередное обслуживание завершится.



$$A=\frac{\lambda\mu}{\lambda+\mu}, шт/ед.времени,$$

Граф состояний одноканальной СМО с отказами

Абсолютная пропускная способность (среднее число заявок, обслуживаемых в единицу времени):

где λ – интенсивность потока заявок (величина, обратная среднему промежутку времени между поступающими заявками - {C}{C});

μ – интенсивность потока обслуживаний (величина, обратная среднему времени обслуживания {C}{C})

Относительная пропускная способность (средняя доля заявок, обслуживаемых системой):

{C}{C}

Вероятность отказа (вероятность того, что заявка покинет СМО необслуженной):

{C}{C}

Очевидны следующие соотношения: {C}{C} и {C}{C}.

N – канальная СМО с отказами (задача Эрланга)

Это одна из первых задач теории массового обслуживания. Она возникла из практических нужд телефонии и была решена в начале 20 века датским математиком Эрлангом.

Дано: в системе имеется *n* – каналов, на которые поступает поток заявок с интенсивностью {C}{C}. Поток обслуживаний имеет интенсивность {C}{C}. Заявка, заставшая систему занятой, сразу же покидает ее.

Найти: абсолютную и относительную пропускную способность СМО; вероятность того, что заявка, пришедшая в момент времени *t*, получит отказ; среднее число заявок, обслуживаемых одновременно (или, другими словами, среднее число занятых каналов).

Решение. Состояние системы ^' **S (СМО) нумеруется по максимальному числу заявок, находящихся в системе (оно совпадает с числом занятых каналов):**

S_0 – в СМО нет ни одной заявки;

S_1 – в СМО находится одна заявка (один канал занят, остальные свободны);

S_2 – в СМО находится две заявки (два канала заняты, остальные свободны);

S_n – в СМО находится *n* – заявок (все *n* – каналов заняты).

{C}{C}

Рис.5 Граф состояний для n – канальной СМО с отказами

Почему граф состояний размечен именно так? Из состояния S_0 в состояние S_1 систему переводит поток заявок с интенсивностью {C}{C}(как только приходит заявка, система переходит из S_0 в S_1). Если система находилась в состоянии S_1 и пришла еще одна заявка, то она переходит в состояние S_2 и т.д.

Почему такие интенсивности у нижних стрелок (дуг графа)? Пусть система находится в состоянии S_1 (работает один канал). Он производит {C}{C}обслуживаний в единицу времени. Поэтому дуга перехода из состояния S_1 в состояние S_0 нагружена интенсивностью {C}{C}. Пусть теперь система находится в состоянии ^' **S_2(работают два канала). Чтобы ей перейти в S_1, нужно, чтобы закончил обслуживание первый**

канал, либо второй. Суммарная интенсивность их потоков равна {C}{C}и т.д.

Выходные характеристики (характеристики эффективности) данной СМО определяются следующим образом.

Абсолютная пропускная способность:

{C}{C}

где n – количество каналов СМО;

– вероятность нахождения СМО в начальном состоянии, когда все каналы свободны (финальная вероятность нахождения СМО в состоянии S_0);

{C}{C}

Рис.6. Граф состояний для схемы «гибели и размножения»

Для того, чтобы написать формулу для определения {C}{C}, рассмотрим рис.6

Граф, представленный на этом рисунке, называют еще графом состояний для схемы «гибели и размножения». Напишем сначала для {C}{C}общую формулу (без доказательства): {C}{C}

Кстати, остальные финальные вероятности состояний СМО запишутся следующим образом.

Вероятность того, что СМО находится в состоянии S_1, когда один канал занят:

{C}{C}

Вероятность того, что СМО находится в состоянии S_2, т.е. когда два канала заняты:

{C}{C}

Вероятность того, что СМО находится в состоянии S_n, т.е. когда все каналы заняты.

{C}{C}

Теперь для n – канальной СМО с отказами

{C}{C}

При этом {C}{C}{C}{C}{C}{C}

Относительная пропускная способность:

{C}{C}

Напомним, что это средняя доля заявок, обслуживаемых системой. При этом {C}{C};{C}{C}.

Вероятность отказа:

{C}{C}

Напомним, что это вероятность того, что заявка покинет СМО необслуженной. Очевидно, что {C}{C}.

Среднее число занятых каналов (среднее число заявок, обслуживаемых одновременно):

{C}{C}

При этом {C}{C}.

Пример. Имеется технологическая система (участок), состоящая из трех одинаковых станков. В систему поступают для обработки детали в среднем через 0,5 часа ({C}{C}). Среднее время изготовления одной детали {C}{C}. Если при поступлении заявки на изготовление детали все станки заняты, то деталь направляется на другой участок таких же станков. Найти финальные вероятности состояний системы и характеристики (показатели эффективности) данной СМО.

{C}{C},

т.е. в среднем две заявки на обработку деталей в час.

{C}{C}.

Граф состояний системы представлен на рис.7 {C}{C} Рис.7Граф состояний для рассматриваемого примера Возможные состояния системы:

S_0 – в СМО (на участке) нет ни одной заявки;

S_1 – в СМО (на участке) одна заявка;

S_2 – в СМО (на участке) две заявки;

S_3 – в СМО (на участке) три заявки (заняты все три станка).

Вероятность того, что все станки свободны:

{C}{C}

Вероятность того, что один станок занят:

{C}{C}

Вероятность того, что два станка заняты:

{C}{C}

Вероятность того, что все три станка заняты:

{C}{C}

{C}{C}

{C}{C}

{C}{C}

Т.е. в среднем в этой системе обрабатывается 1,82 дет/ч (примерно 91 % направляемых деталей), при этом примерно 9 % деталей направляется для обработки на другие участки. Одновременно в среднем работает в основном один станок ({C}{C}). Но из-за случайных характеристик потока заявок иногда работают одновременно все три станка ({C}{C}), отсюда 9 % отказов.

Возможные постановки задач оптимизации n – канальных СМО с отказами

1.Определить оптимальное число каналов, обеспечивающее минимум затрат на систему, при условии достижения требуемого уровня ее безотказной работы.

Пример. Пусть {C}{C}. Целевая функция (затраты на СМО) запишется: {C}{C}, где {C}{C}. Найти: {C}{C}. **Решение:**

{C}{C}

{C}{C}

{C}{C}

Или

{C}{C}.

По другому можно записать:

{C}{C}.

Последнее равенство начинает выполняться при {C}{C}, т.к.

{C}{C};{C}{C};

{C}{C};

{C}{C}.

2.Определить оптимальное число каналов, обеспечивающее максимум прибыли от эксплуатации СМО в единицу времени.

Содержание каждого канала в единицу времени обходится в какую-то сумму. Чем больше каналов, тем больше затраты на эксплуатацию СМО. Вместе с тем, чем больше каналов (при {C}{C}и {C}{C}), тем больше доля обслуживаемых заявок. А каждая обслуженная заявка дает определенный (пусть постоянный) доход в единицу времени. При увеличении числа каналов растут доходы *D*, но растут и расходы на эксплуатацию СМО – *R*. Чтобы решить эту задачу, необходимо найти оптимальное число каналов {C}{C}, обеспечивающее максимум целевой функции {C}{C}, т.е. нужно максимизировать прибыль в единицу времени.

Одноканальная и N - канальная СМО с отказами. Характеристики эффективности СМО

Незаконченная ботва

Это незаконченная статья. Автор отправился ботать или спать.

Или... зависит от автора.

Наверняка он будет благодарен, если вы найдёте в себе силы продолжить статью.

Одноканальная и N-канальная СМО с отказами http://masteroid.ru/content/view/908/42/

Одноканальная СМО с отказами

Простейшей из всех задач теории массового обслуживания является модель одноканальной СМО с отказами (потерями).

При этом система массового обслуживания состоит только из одного канала (n = 1) и на нее поступает пуассоновский поток заявок с интенсивностью, зависящей, в общем случае, от времени:

Заявка, заставшая канал занятым, получает отказ и покидает систему. Обслуживание заявки продолжается в течение случайного времени, распределенного по показательному закону с параметром:

(5.35)

Из этого следует, что «поток обслуживания» — простейший, с интенсивностьюЧтобы представить себе этот поток, вообразим один непрерывно занятый канал, который будет выдавать обслуженные заявки потоком с интенсивностью

Требуется найти:

1)абсолютную пропускную способность СМО (А);

2)относительную пропускную способность СМО (q).

Рассмотрим единственный канал обслуживания как физическую систему S, которая может находиться в одном из двух состояний:— свободен, — занят.

ГСП системы показан на рис. 5.6, а.

Рис. 5.6. ГСП для одноканальной СМО с отказами (а); график решения уравнения (5.38) (б)

Из состояниявсистему, очевидно, переводит поток заявок с интенсивностью; изв— «поток обслуживания» с интенсивностью.

Вероятности состояний: и. Очевидно, для любого момента t:

= 1. (5.36)

Составим дифференциальные уравнения Колмогорова для вероятностей состояний согласно правилу, данному выше:

(5.37)

Из двух уравнений (5.37) одно является лишним, так каки связаны соотношением (5.36). Учитывая это, отбросим второе уравнение, а в первое подставим вместовыражение:

или

(5.38)

Поскольку в начальный момент канал свободен, уравнение следует решать при начальных условиях:= 1,=0.

Линейное дифференциальное уравнение (5.38) с одной неизвестной функциейлегко может быть решено не только для простейшего потока заявок, но и для случая, когда

интенсивность этого потока со временем меняется.

Для первого случая решение есть:

Зависимость величиныот времени имеет вид, изображенный на рис. 5.6, б. В начальный момент (при t = 0) канал заведомо свободен ((0) = 1). С увеличением t вероятностьуменьшается и в пределе (при) равна. Величина, дополняющаядо единицы, изменяется так, как показано на том же рисунке.

Нетрудно убедиться, что для одноканальной СМО с отказами вероятностьесть не что иное, как относительная пропускная способность q. Действительно,есть вероятность того, что в момент t канал свободен, или вероятность того, что заявка, пришедшая в момент t, будет обслужена. Следовательно, для данного момента времени t среднее отношение числа обслуженных заявок к числу поступивших также равно

В пределе, при, когда процесс обслуживания уже установится, предельное значение относительной пропускной способности будет равно:

Зная относительную пропускную способность q, легко найти абсолютную А. Они связаны очевидным соотношением:

В пределе, при, абсолютная пропускная способность тоже установится и будет равна

Зная относительную пропускную способность системы q (вероятность того, что пришедшая в момент t заявка будет обслужена), легко найти вероятность отказа:

или среднюю часть необслуженных заявок среди поданных. При

Многоканальная СМО с отказами

Рассмотрим n-канальную СМО с отказами. Будем нумеровать состояния системы по числу занятых каналов (или, что в данном случае то же, по числу заявок, находящихся в системе или связанных с системой). Состояния системы:

— все каналы свободны;

—занят ровно один канал, остальные свободны;

—заняты ровно к каналов, остальные свободны;

—заняты все п каналов.

ГСП СМО представлен на рис. 5.7. Около стрелок поставлены интенсивности соответствующих потоков событий. По стрелкам слева направо систему переводит один и тот же поток — поток заявок с интенсивностью. Если система находится в состоянии(занято к каналов) и пришла новая заявка, то система переходит в состояние

Рис. 5.7. ГСП для многоканальной СМО с отказами

Определим интенсивности потоков событий, переводящих систему по стрелкам справа налево. Пусть система находится в состоянии(занят один канал). Тогда, как только закончится обслуживание заявки, занимающей этот канал, система перейдет в; значит, поток событий, переводящий систему по стрелке , имеет интенсивность. Очевидно, если обслуживанием занято два канала, а не один, поток обслуживания, переводящий систему по стрелкебудет вдвое интенсивнее; если за-

нято k каналов — в к раз интенсивнее. Соответствующие интенсивности указаны у стрелок, ведущих справа налево.

Из рис. 5.7 видно, что процесс, протекающий в СМО, представляет собой частный случай процесса размножения и гибели, рассмотренного выше.

Пользуясь общими правилами, можно составить уравнения Колмогорова для вероятностей состояний:

(5.39)

Уравнения (5.39) называют уравнениями Эрланга. Поскольку при t = 0 система свободна, начальными условиями для их решения являются:

Интегрирование системы уравнений (5.39) в аналитическом виде довольно сложно; на практике такие системы дифференциальных уравнений обычно решаются численно и такое решение дает все вероятности состояний как функции времени.

Наибольший интерес представляют предельные вероятности состоянийхарактеризующие установившийся режим СМО (при). Для нахождения предельных вероятностей воспользуемся ранее полученными соотношениями (5.32)—(5.34), полученными для модели размножения и гибели. Согласно этим соотношениям,

(5.40)

В этих формулах интенсивность потока заявоки интенсивность потока обслуживании (для одного канала)не фигурируют по отдельности, а входят только своим отношением. Это отношение обозначается:

и называется приведенной интенсивностью потока заявок. Величинапредставляет собой среднее число заявок, приходящих в СМО за среднее время обслуживания одной заявки.

С учетом этого обозначения, соотношения (5.40) принимают вид:

(5.41)

Соотношения (5.41) называются формулами Эрланга. Они выражают предельные вероятности всех состояний системы в зависимости от параметрови n.

Имея вероятности состоянийможно найти характеристики эффективности СМО: относительную пропускную способность q, абсолютную пропускную способность А и вероятность отказа.

Вероятность отказа. Заявка получает отказ, если приходит в момент, когда все и каналов заняты. Вероятность этого равна

(5.42)

Относительная пропускная способность. Вероятность того, что заявка будет принята к обслуживанию (относительная пропускная способность а), дополняетдо единицы:

Абсолютная пропускная способность:

Среднее число заявок в системе. Одной из важных характеристик СМО с отказами является среднее число занятых каналов (в данном случае оно совпадает со средним числом заявок, находящихся в системе). Обозначим это среднее число. Величинуможно вычислить через вероятности по формуле

как математическое ожидание дискретной случайной величины, однако проще выразить среднее число занятых каналов через абсолютную пропускную способность А, которая уже известна. Действительно, А есть не что иное, как среднее число заявок, обслуживаемых в единицу времени; один занятый канал обслуживает в среднем за единицу временизаявок; среднее число занятых каналов получится делением А на:

или, переходя к обозначению ,

(5.43)

Показатели эффективности **http://lib.vvsu.ru/books/Bakalavr01/page0220.asp**

Показатели эффективности делятся на показатели, характеризующие **качество** и **условия работы** обслуживающей системы, и показатели, отражающие экономические особенности системы.

Показатели первой группы обычно формируют на основе полученных из расчетов значений вероятностей состояний системы. Показатели второй группы рассчитывают на основе показателей первой группы.

Среди показателей первой группы можно выделить следующие.

1) **Вероятность** того, что поступающее в систему требование **откажется присоединяться к очереди** и теряется, (Ротк).

Этот показатель для системы массового обслуживания с отказами равен вероятности того, что в системе находится столько требований, сколько она содержит приборов (каналов) обслуживания:

где т —число каналов обслуживания.

Для системы с ограниченной длиной очереди Ротк равно вероятности того, что в системе находится т +l требований:

где l — допустимая длина очереди.

Противоположным показателем является вероятность обслуживания требования

2) Среднее **количество** требований, **ожидающих начала обслуживания**,

где Pn — вероятность того, что в системе находятся п требований.

При условии простейшего потока требований и экспоненциального закона распределения времени обслуживания формулы для Мож принимают следующий вид:

система с ограниченной длиной очереди

где р = , — интенсивность входящего потока требований (среднее число требований, поступающих в единицу времени), — интенсивность обслуживания (среднее число обслуженных требований в единицу времени);

3) **Относительная** (q) и **абсолютная** (А) **пропускные способности** системы. Эти величины находят соответственно по формулам

4) Среднее **число занятых** обслуживанием **приборов** в случае экспоненциального характера потока требований и времени обслуживания

Для системы массового обслуживания с отказами т-, можно найти по формуле

5) Общее **количество требований**, находящихся **в системе** (М). Эту величину определяют следующим образом:

система массового обслуживания с отказами

система массового обслуживания с ограниченной длиной очереди и ожиданием

6) Среднее время **ожидания** требованиям начала **обслуживания** (Тож). Если известна функция распределения вероятности времени ожидания требованиям начала обслуживания

Тож при показательном законе распределения требований во входящем потоке можно определить по формуле

Показатели, характеризующие экономические особенности, формируют обычно в соответствии с конкретным видом системы и ее назначением. Одним из общих экономических показателей является экономическая эффективность

где с — средний экономический эффект, полученный при обслуживании одного требования, Т — рассматриваемый интервал времени, Gп — величина потерь в системе.

Величину потерь можно определить по следующим формулам:

система с отказами

где qk — стоимость эксплуатации одного прибора в единицу времени, qу — стоимость убытков в результате ухода требований из системы в единицу времени,qпк — стоимость единицы времени простоя прибора системы, тсв= т – т3;

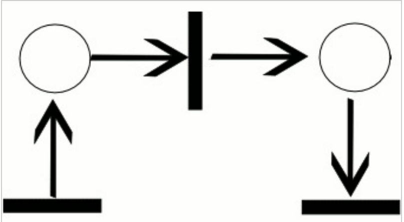
qож — стоимость потерь, связанных с простоем требований в очереди в единицу времени.

Сети Петри. Структура и правила выполнения сетей Петри.

Сети Петри

Сети Петри — математический аппарат для моделирования динамических дискретных систем. Впервые описаны Карлом Петри в 1962 году.

Сеть Петри представляет собой двудольный ориентированный граф, состоящий из вершин двух типов — позиций и переходов, соединённых между собой дугами. Вершины одного типа не могут быть соединены непосредственно. В позициях могут размещаться метки (маркеры), способные перемещаться по сети.



Пример работы сети Петри

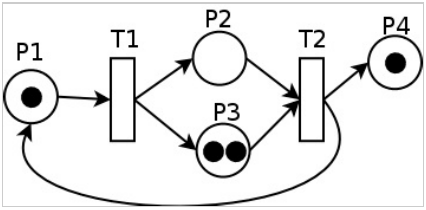
Событием называют срабатывание перехода, при котором метки из входных позиций этого перехода перемещаются в выходные позиции. События происходят мгновенно, либо разновременно, при выполнении некоторых условий.

Как и стандартные UML диаграммы, BPMN и EPC, сети Петри предоставляют возможность графически иллюстрировать процессы включающие выбор, итерации и одновременное выполнение. Но в отличие от данных стандартов, у сетей Петри четкая математическая формулировка и за ними стоит развитая математическая теория.

Структура сетей Петри

Сеть Петри состоит из 4-х элементов:

- множество позиций **P**,
- множество переходов **T**,
- входная функция **I**,
- выходная функция **O**.



Пример сети Петри. Белыми кружками обозначены позиции, полосками — переходы, чёрными кружками — метки.

Входная и выходная функции связаны с переходами и позициями. Входная функция **I** отображает переход t_j в множество позиций $I(t_j)$, называемых **входными позициями перехода**. Выходная функция **O** отображает переход t_j в множество позиций $O(t_j)$, называемых **выходными позициями перехода**. Структура сети Петри определяется её позициями, переходами, входной и выходной функциями.

Определение

Сеть Петри **C** является четверкой, **C=(P,T,I,O)**. $P=\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ - конечное множество позиций, **n>=0**. $T=\{ t_1, t_2, \dots, t_n \}$ - конечное множество переходов, **m>=0**. Множество позиций и множество переходов не пересекаются, то есть пересечение **P** и **T** равно пустому множеству . **I: T->P**$^{¥}$ является входной функцией - отображением из переходов в комплекты позиций. **O: T->P**$^{¥}$ есть выходная функция - отображение из переходов в комплекты позиций.

Произвольный элемент **P** обозначается символом p_i **, i=1, ..., n**, а произвольный элемент **T** - символом t_j**, j=1, ..., m**.

Правила выполнения сетей Петри

Выполнением сети Петри управляют количество и распределение фишек в сети. Сеть Петри выполняется посредством запусков переходов. Переход запускается удалением фишек из его входных позиций и образованием новых фишек, помещаемых в его выходные позиции.

Переход запускается, если он разрешен. Переход называется разрешенным, если каждая из его входных позиций имеет число фишек по крайней мере равное числу дуг из позиции в переход. Фишки во входной позиции, которые разрешают переход, называются его разрешающими фишками. Например, если позиции p1 и p2 служат входами для перехода t1, тогда t1 разрешен, если p1 и p2 имеют хотя бы по одной фишке. Для перехода t3 с входным комплектом {p3,p3,p3} позиция p3 должна иметь не менее 3 фишек для разрешения перехода t3.

Определение. Переход $t_j \in T$ маркированной сети Петри $C = (P, T, I, O, \mu)$ с маркировкой μ, разрешен, если для всех $p_j \in P, \mu(p_i) \geq \#(p_i, I(t_j))$.

Переход запускается удалением разрешающих фишек, из всех его выходных позиций (количество удаленных фишек для каждой позиции соответствует числу дуг, идущих из этой позиции в переход), с последующим помещением фишек в каждую из его выходных позиций (количество помещаемых фишек в позицию соответствует количеству дуг входящих в данную позицию из перехода).

>Переход t3 I(t3) = {p2} и O(t3) = {p3,p4} разрешен каждый раз, когда в p2 будет хотя бы одна фишка. Переход t3 запускается удалением одной фишки из позиции p2 и помещением одной фишки в позицию p3 и p4 (его выходы). Переход t4, в котором I(t4) = {p4,p5} и O(t4) = {p5,p6,p6} запускается удалением по одной фишке из позиций p4 и p5, при этом одна фишка помещается в p5 и две в p6 (рис. 2).

Определение. Переход t_j в маркированной сети Петри с маркировкой μ может быть запущен всякий раз, когда он разрешен. В результате запуска разрешенного перехода t_j образуется новая маркировка μ':

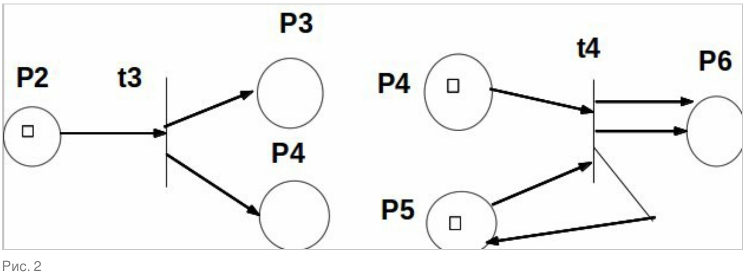


Рис. 2

$$\mu'(p_i) = \mu(p_j) - \#(p_i, I(t_j) + \#(p_i, O(t_j))$$

Обобщенные модели (А-схемы)

Основные соотношения

Обобщенный подход базируется на понятии **агрегативной системы** (от англ, aggregate system), представляющей собой формальную схему общего вида, которую будем называть **А-схемой**. Этот подход позволяет описывать поведение непрерывных и дискретных, детерминированных и стохастических систем.

Комплексное решение проблем, возникающих в процессе создания и машинной реализации модели, возможно лишь в случае, если моделирующие системы имеют в своей основе единую формальную математическую схему, т. е. А-схему. **А-схема должна выполнять несколько функций:**

- являться адекватным математическим описанием объекта моделирования;
- позволять в упрощенном варианте (для частных случаев) проводить аналитические исследования.

Представленные требования несколько противоречивы, но в рамках обобщенного подхода на основе А-схем удается найти между ними компромисс.

При агрегативном подходе первоначально дается формальное определение объекта моделирования – агрегативной системы. При агрегативном описании сложный объект (система) разбивается на конечное число частей (подсистем), сохраняя при этом связи, обеспечивающие их взаимодействие. В случае сложной организации полученных подсистем, подсистемы декомпозируются до уровней в которых они могут быть удобно математически описаны. В результате сложная система представляется в виде многоуровневой конструкции из взаимосвязанных элементов, объединенных в подсистемы различных уровней.

Элементом А-схемы является **агрегат**. Связь между агрегатами (внутри системы S и с внешней средой E) осуществляется с помощью оператора сопряжения R. Агрегат может рассматриваться как А-схема, т. е. может разбиваться на элементы (агрегаты) следующего уровня.

Характеристиками агрегата являются множества моментов времени T, входных X и выходных Y сигналов, состояний Z в каждый момент времени t. Пусть переход агрегата из состояния $z(t_1)$ в состояние $z(t_2) \neq z(t_1)$ происходит за малый интервал времени, т.е. имеет место скачок δz. Переходы из состояния $z(t_1)$ в $z(t_2)$ определяются внутренними параметрами агрегата $h(t) \in H$ входными сигналами $x(t) \in X$.

В начальный момент времени $t0$ состояния z имеют значения, равные z^0, т. е. $z^0 = z(t_0)$, которые задаются законом распределения $L[z(t_0)]$. Пусть изменение состояния агрегата при входном сигнале x_n описывается случайным оператором V. Тогда в момент поступления в агрегат $t_n \in T$ входного сигнала x_nсостояние определяется $z(t_n + 0) = V[t_n, z(t_n), x_n]$.

Если на интервале времени (t_n, t_{n+1}) нет поступления сигналов, то для $t \in (t_n, t_{n+1})$ состояние агрегата определяется случайным оператором U в соответствии с соотношением $z(t) = U[t, t_n, z(t_n + 0)$.

Совокупность случайных операторов V и U рассматривается как оператор переходов агрегата в новые состояния. При этом процесс функционирования агрегата состоит из скачков состояний δz в моменты поступления входных сигналов x (оператор V) и изменений состояний между этими моментами t_n и t_{n+1} (оператор U). На оператор U не накладывается никаких ограничений, поэтому допустимы скачки состояний δz в моменты времени, не являющиеся моментами поступления входных сигналов x. В дальнейшем моменты скачков δz будем называть особыми моментами времени t_δ, а состояния $z(t_\delta)$ – особыми состояниями А-схемы. Для описания скачков состояний δz в особые моменты времени t_δ используется случайный оператор W, который представляет собой частный случай оператора U, т.е. $z(t_\delta + 0) = W[t_\delta, z(t_\delta)]$.

В множестве состояний Z выделяется такое подмножество $Z^{(Y)}$, что если $z(t_\delta)$ достигает $Z^{(Y)}$, то это состояние является моментом выдачи выходного сигнала. Выходной сигнал можно описать оператором выходов $Gy = G[t_\delta, z(t_\delta)$.

Агрегатом будем понимать любой объект, который описывается следующим образом $A =< T, X, Y, Z, Z^{(Y)}, H, V, U, W, G >$.

Структура агрегативной системы

Рассмотрим *А-схему*, структура которой приведена на рис.1.

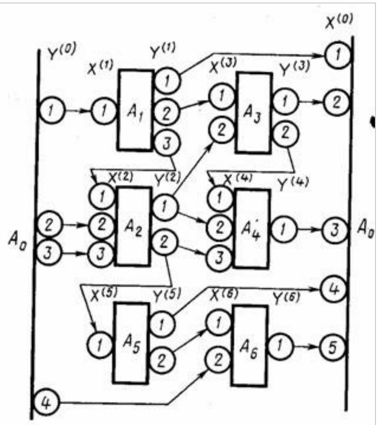


Рис. 2.11. Структура агрегативной системы

Структура агрегативной системы

Рис. 1

Функционирование *А-схемы* связано с переработкой информации, передача последней на схеме показана стрелками. Вся информация, циркулирующая в А-схеме, делится на внешнюю и внутреннюю. Внешняя информация поступает от внешних объектов, внутренняя информация вырабатывается агрегатами самой *А-схемы.* Обмен информацией между *А-схемой* и внешней средой *Е* происходит через агрегаты, называющиеся **полюсами А-схемы.** Различают входные полюсы на которые поступают х-сообщения (агрегаты A_t, A_2, A_6), и выходные полюсы *А-схемы,* выходная информация которых является *у-* сообщениями (агрегаты A_1',' A_3, A_4, A_5, A_6). Агрегаты, не являющиеся полюсами, называются **внутренними**.

Каждому агрегату *А-схемы* A_n подводятся входные контакты (I_n) с элементарными входными сигналами $x_i(t)$, i = 1..I_n, и выходные контакты (J_n) с сигналами $y_j(t)$, j = 1...J_n.

Введем ряд предположений:

1) взаимодействие между *А-схемой* и внешней средой *Е,* а также между отдельными агрегатами внутри системы *S*осуществляется при передаче сигналов;

2) для описания сигнала достаточно некоторого конечного набора характеристик;

3) элементарные сигналы мгновенно передаются в *А-схеме* независимо друг от друга по элементарным каналам;

4) к входному контакту любого элемента *А-схемы* подключается не более чем один элементарный канал, к выходному контакту — любое конечное число элементарных каналов при условии, что ко входу одного и того же элемента А-схемы направляется не более чем один из упомянутых элементарных каналов.

Взаимодействие *А-схемы* с внешней средой *Е* рассматривается как обмен сигналами между внешней средой *Е* и элементами *А-схемы*, поэтому внешняя среда является фиктивным элементом системы A_0, вход которого содержит I_0 входных контактов $X_i^{(0)}, i = \overline{1, I_0}$ и выход — J_0 выходных контактов $Y_j^{(0)}, j = \overline{1, J_0}$

Таким образом, каждый агрегат A_n можно охарактеризовать множеством входных контактов $X_1^{(n)}$, $X_2^{(n)}$ ..., $X_{In}^{(n)}$= {$X_i^{(n)}$},

и множеством выходных контактов $Y_1^{(n)}$, $Y_2^{(n)}$ ..., $У_J^{(n)}$ = {$У_j^{(n)}$},где $n = \overline{0, N_A}$

Пара множеств {$X_i^{(n)}$}, {$У_j^{(n)}$} представляют математическую модель агрегата, которая описывает сопряжения его с прочими элементами *А-схемы* и внешней средой *Е.*

В силу предположения о независимости передачи сигналов каждому входному контакту

$$X_i^{(n)} \in \bigcup_{n=0}^{N_A} \left\{X_i^{(n)}\right\}$$

соответствует не более чем один выходной контакт

$$Y_l^k \in \bigcup_{n=0}^{N_A} \left\{Y_j^{(n)}\right\}$$

где $\bigcup_{n=0}^{N_A} \left\{X_i^{(n)}\right\}$ – множество входных контактов всех элементов А-схемы и внешней среды Е; $\bigcup_{n=0}^{N_A} \left\{Y_j^{(n)}\right\}$ – множество выходных контактов всех элементов А-схемы и внешней среды Е, с которыми она связана элементарным каналом; $k, n = \overline{0, N_A}$

Введем оператор сопряжения *R*: оператор $Y_i^k = R(X_i^{(n)})$ с областью определения в множестве $\bigcup_{n=0}^{N_A} \left\{X_i^{(n)}\right\}$ и областью значений в множестве $\bigcup_{n=0}^{N_A} \left\{Y_j^{(n)}\right\}$, сопоставляющий входному контакту X_i^n выходной контакт Y_i^k, связанный с ним элементарным каналом.

Совокупность множеств $\left\{X_i^{(n)}\right\}, \left\{Y_j^{(n)}\right\}$ и оператор R представляют схему сопряжения элементов в систему.

Оператор сопряжения *R* можно задать в виде таблицы, в которой на пересечении строк с номерами элементов (агрегатов) *n* и столбцов с номерами контактов *i* располагаются пары чисел *k, l*, указывающие номер элемента *k* и номер контакта *l*, с которым соединен контакт $X_i^{(n)}$. (таблица)

n	*i*				
	1	2	3	4	5
0	1.1	3.1	4.1	5.1	6.1
1	0.1				
2	1.3	0.2	0.3		
3	1.2	2.1			
4	3.2	2.1	2.2		
5	2.2				
6	5.2	0.4			

Если столбцы и строки такой таблицы пронумеровать парами *n,i* и *k, l* соответственно и на пересечении помещать 1 для контактов *n,i* и *k, l*, соединенных элементарным каналом и 0 в противном случае, то получим матрицу смежности ориентированного графа, вершинами которого являются контакты агрегатов, а дугами — элементарные каналы *А-схемы.*

В более сложных случаях могут быть использованы многоуровневые иерархические схемы сопряжения. Схема сопряжения агрегата, определяемая оператором *R,* может быть использована для описания весьма широкого класса объектов.

Упорядоченную совокупность конечного числа агрегатов А*n*, агрегата А*0* и оператора R можно представить А-схемой при следующих условиях:

1) каждый элементарный канал, передающий сигналы во внешнюю среду должен начинается в одном из выходных каналов первого агрегата А-схемы; каждый элементарный канал, передающий сигналы из внешней среды должен заканчиваться на одном из выходных каналов А-схемы;

2) сигналы в А-схеме передаются непосредственно от одного агрегата к другому без устройств, которые способны отсеивать сигналы, по каким-либо признакам;

3) согласование функционирования агрегатов А-схемы во времени;

4) сигналы между агрегатами предаются мгновенно, без искажений и перекодирования, изменяющего структуру сигнала.

Классический и системный подходы к моделированию систем

Приведем основные определения и понятия, используемые в теории моделирования.

Теория моделирования – теория замещения объекта-оригинала его моделью и исследования свойств объекта на его модели.

Моделирование – метод исследования, основанный на замене исследуемого объекта-оригинала его моделью и на работе с ней (вместо объекта).

Модель (объекта - оригинала) – вспомогательный объект, отражающий наиболее существенные для исследования закономерности, суть, свойства, особенности строения и функционирования объекта-оригинала.

Когда говорят о моделировании, обычно имеют в виду моделирование некоторой системы.

Система – совокупность взаимосвязанных элементов, объединенных для реализации общей цели, обособленная от окружающей среды и взаимодействующая с ней как целостное целое и проявляющая при этом основные системные свойства. Выделяют 15 основных системных свойств, к которым относятся: эмергентность (эмерджентность); цельность; структурированность; целостность; подчиненность цели; иерархичность; бесконечность; эргатичность; открытость; необратимость; единство структурной устойчивости и неустойчивости; нелинейность; потенциальная многовариантность актуальных структур; критичность; непредсказуемость в критической области.

При моделировании систем используют два подхода: **классический (индуктивный)**, сложившийся исторически первым, и **системный**.

Классический подход

Исторически первым сложился **классический подход** к изучению объекта, моделированию системы.Такой (классический) подход может быть использован при создании достаточно простых моделей. Процесс синтеза модели М на основе классического (индуктивного) подхода представлен на рис. 1. Реальный объект, подлежащий моделированию, разбивается на отдельные подсистемы, т. е. выбираются исходные данные Д для подходов моделирования и ставятся цели Ц, отображающие отдельные стороны процесса моделирования. По отдельной совокупности исходных данных Д ставится цель моделирования отдельной стороны функционирования системы, на базе этой цели формируется некоторая компонента К будущей модели. Совокупность компонент объединяется в модель М.

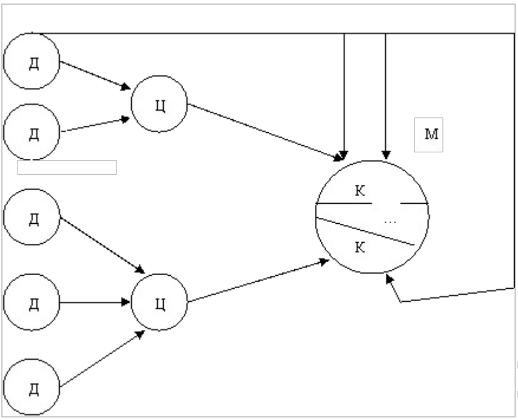


Рис.1 Классический подход к построению объекта, изучению модели

Таким образом, разработка модели М на базе классического подхода означает суммирование отдельных компонент в единую модель, причем каждая из компонент решает свои собственные задачи и изолирована от других частей модели. Поэтому классический подход может быть использован для реализации сравнительно простых моделей, в которых возможно разделение и взаимно независимое рассмотрение отдельных сторон функционирования реального объекта. Для модели сложного объекта такая разобщенность решаемых задач недопустима, так как приводит к значительным затратам ресурсов при реализации модели на базе конкретных программно-технических средств.

Можно отметить две отличительные стороны классического подхода:

- наблюдается движение от частного к общему
- создаваемая модель образуется путем суммирования отдельных ее компонент и не учитывается возникновение нового системного эффекта.

С усложнением объектов моделирования возникла необходимость наблюдения их с более высокого уровня. В этом случае наблюдатель (разработчик) рассматривает данную систему S как некоторую подсистему какой-то метасистемы, т. е. системы более высокого ранга, и вынужден перейти на позиции нового системного подхода, который позволит ему построить не только исследуемую систему, решающую совокупность задач, но и создавать систему, являющуюся составной частью метасистемы.

Системный подход

Системный подход получил применение в системотехнике в связи с необходимостью исследования больших реальных систем, когда сказалась недостаточность, а иногда ошибочность принятия каких-либо частных решений. На возникновение системного подхода повлияли увеличивающееся количество исходных данных при разработке, необходимость учета сложных стохастических связей в системе и воздействий внешней среды Е. Все это заставило исследователей изучать сложный объект не изолированно, а во взаимодействии с внешней средой, а также в совокупности с другими системами некоторой метасистемы. Системный подход позволяет решить проблему построения сложной системы с учетом всех факторов и возможностей, пропорциональных их значимости, на всех этапах исследования системы S и построения модели М. Системный подход означает, что каждая система S является интегрированным целым даже тогда, когда она состоит из отдельных разобщенных подсистем. Таким образом, в основе системного подхода лежит рассмотрение системы как интегрированного целого, причем это рассмотрение при разработке начинается с главного — формулировки цели функционирования. Процесс синтеза модели М на базе системного подхода условно представлен на рис. 2. На основе исходных данных Д, которые известны из анализа внешней системы, тех ограничений, которые накладываются на систему сверху либо, исходя из возможностей ее реализации, и на основе цели функционирования формулируются исходные требования Т к модели системы S. На базе этих требований формируются ориентировочно некоторые подсистемы П, элементы Э и осуществляется наиболее сложный этап синтеза — выбор В составляющих системы, для чего используются специальные критерии выбора (КВ).

При моделировании необходимо обеспечить максимальную эффективность

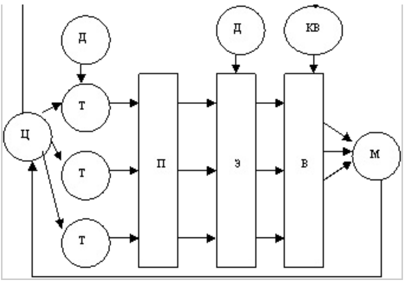


Рис.2 Процесс синтеза модели па основе системного подхода

При моделировании необходимо обеспечить максимальную эффективность модели системы. Эффективность обычно определяется как некоторая разность между какими-то показателями ценности результатов, полученных в итоге эксплуатации модели, и теми затратами, которые были вложены в ее разработку и создание.

Типовые математические схемы моделирования. Непрерывно-детерминированные модели (D-схемы)

Содержание

Понятие математической схемы

Для исследования характеристик процесса функционирования любой системы математическими методами должна быть проведена формализация этого процесса, т.е. построена математическая модель. Эта задача решается с помощью математических схем.

Математическая схема представляет собой звено при переходе от содержательного к формальному описанию процесса функционирования системы с учётом воздействия внешней среды, т.е. имеет место цепочка «описательная модель – математическая схема – математическая модель». Схематично процесс формализации представлен на рис.1.

Рис.1 Схема процесса формализации

Введение понятия математической схемы позволяет рассматривать математику не как метод расчёта, а как метод мышления, как средство формулирования понятий, что является важным при переходе от словесного описания системы к формальному представлению процесса её функционирования в виде математической модели.

Исходной информацией при построении математических моделей процессов функционирования систем служат данные о назначении и условиях работы исследуемой системы, причем уровень абстрагирования зависит от круга тех вопросов, на которые исследователь системы хочет получить ответы с помощью модели.

В отличие от содержательного словесного описания, образующего описательную модель, формальное описание процесса функционирования системы, представляющее собой математическую модель, не допускает неоднозначной интерпретации, так как представляет собой правило, которое необходимо выполнить для получения результата.

При пользовании математической схемой в первую очередь решается вопрос об **адекватности отображения в виде конкретных схем реальных процессов в исследуемой системе**. Кроме того, при построении математической модели необходимо решить вопрос об её полноте. Полнота модели регулируется, в основном, выбором границы между системой и внешней средой. Также должна быть решена задача упрощения модели, которая помогает выделить основные свойства системы, отбросив второстепенные.

В практике моделирования используются математическая схема общего вида и типовые математические схемы.**Математическая схема общего вида** позволяет формализовать широкий класс систем. **Типовые математические схемы**, включающие D–схемы, F–схемы, P–схемы, Q–схемы и A–схемы, не обладают общностью, но имеют преимущества простоты и наглядности.

Математическая схема общего вида

При использовании математической схемы общего вида модель объекта моделирования, т.е. исследуемой системы, представляется в виде множества величин, описывающих процесс функционирования реальной системы и образующих четыре непересекающихся подмножества (рис. 2):

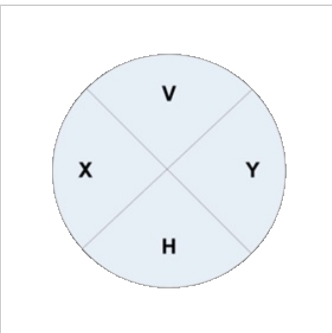


Рис.2 Модель, построенная на основе математической схемы общего вида

- подмножество совокупности входных воздействий на систему $X = \{x_i\}, i = \overline{1, n_x}$
- подмножество совокупности воздействий внешней среды на систему $V = \{v_l\}, l = \overline{1, n_v}$
- подмножество совокупности внутренних (собственных) параметров системы $H = \{h_k\}, k = \overline{1, n_h}$
- подмножество совокупности выходных характеристик системы $Y = \{y_j\}, j = \overline{1, n_y}$

При моделировании системы входные воздействия X, воздействия внешней среды V и внутренние параметры системы H являются **независимыми (экзогенными) переменными**, а выходные характеристики Y – **зависимыми (эндогенными) переменными**.

Процесс функционирования системы описывается во времени оператором, который в общем случае преобразует экзогенные переменные в эндогенные в соответствии с соотношением вида $Y(t) = F_s(X, V, H, t)$ Эта зависимость называется законом функционирования системы и обозначается F_s. В общем случае закон функционирования системы F_s может быть задан в виде функции, функционала, логических условий, в алгоритмической и табличной формах или в виде словесного правила соответствия.

Непрерывно-детерминированные модели (D–схемы)

Рассмотрим особенности непрерывно-детерминированного подхода на примере использования в качестве математических моделей дифференциальных уравнений. **Дифференциальными уравнениями** называются такие уравнения, в которых неизвестными будут функции одной или нескольких переменных, причем в уравнение входят не только функции, но и их производные различных порядков. Если неизвестные — функции многих переменных, то уравнения называются **уравнениями в частных производных**, в противном случае при рассмотрении функции только одной независимой переменной уравнения называются **обыкновенными дифференциальными уравнениями**.

Основные соотношения

Обычно в таких математических моделях в качестве независимой переменной, от которой зависят неизвестные искомые функции, служит время t. Тогда математическое соотношение для детерминированных систем в общем виде будет $\overrightarrow{y'} = \overrightarrow{f}(\overrightarrow{y}, t), \overrightarrow{y}(t_0) = \overrightarrow{y}_0$, где $\overrightarrow{y'} = d\overrightarrow{y}/dt, y = (y_1, y_2, ..., y_n), f = (f_1, f_2, ..., f_n)$ - n-мерные, $f\,(y, t)$- вектор-функция, которая определена на некотором (n+ 1)-мерном (y, t) множестве и является непрерывной. Так как математические схемы такого вида отражают динамику изучаемой системы, т. е. ее поведение во времени, то они называются **D-схемами**(англ. Dynamic System).

В простейшем случае обыкновенное дифференциальное уравнение имеет вид $y' = f(y, t)$ Наиболее важно для системотехники приложение D-схем в качестве математического аппарата в теории автоматического управления. При проектировании и эксплуатации **систем автоматического управления**(частный случай динамических систем) необходимо выбрать такие параметры системы, которые бы обеспечивали требуемую точность управления.

Описывая процессы автоматического управления, придерживаются обычно представления реального объекта в виде двух систем: управляющей и управляемой (объекта управления). Структура многомерной системы автоматического управления общего вида представлена на рис.3, где обозначены эндогенные переменные: *x (t)* — вектор входных (задающих) воздействий; *v (t)* — вектор возмущающих воздействий; *h'(t)* — вектор сигналов ошибки; *h "(t)* — вектор управляющих воздействий; экзогенные переменные: *z* (0 — вектор состояний системы S; *y (t)* — вектор выходных переменных, обычно *y (t)=z (t)*.

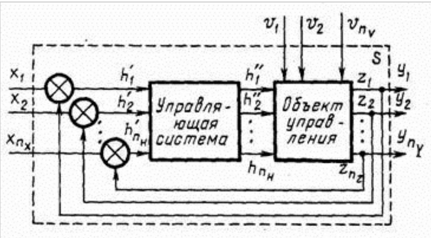


Рис.3 Структура системы автоматического управления

Современная управляющая система — это совокупность программно-технических средств, обеспечивающих достижение объектом управления определенной цели. Насколько точно объект управления достигает заданной цели, можно судить для одномерной системы по координате состояния *y(t)*.

Разность между заданным *Узад (t)* и действительным *y(t)* законами изменения управляемой величины есть **ошибка управления *h'(t)=уЗад(t)—y(t)***.

Если предписанный закон изменения управляемой величины соответствует закону изменения входного (задающего) воздействия, т. е. *x(t)=узад(t),* то *h'(t)=x(t)-y(t)*.

Системы, для которых ошибки управления *h'(t) = O* во все моменты времени, называются **идеальными**. На практике реализация идеальных систем невозможна. Таким образом, ошибка *h'(t)* — необходимый субстрат автоматического управления, основанного на принципе отрицательной обратной связи, так как для приведения в соответствие выходной переменной *y (t)* ее заданному значению используется информация об отклонении между ними.

Задачей системы автоматического управления является изменение переменной *y (t)*согласно заданному закону с определенной точностью (с допустимой ошибкой). При проектировании и эксплуатации систем автоматического управления необходимо выбрать такие параметры системы S, которые обеспечили бы требуемую точность управления, а также устойчивость системы в переходном процессе. Если система устойчива, то представляют практический интерес поведение системы во времени, максимальное отклонение регулируемой переменной *y(t)*в переходном процессе, время переходного процесса и т. п. Выводы о свойствах систем автоматического управления различных классов можно сделать по виду дифференциальных уравнений, приближенно описывающих процессы в системах. Порядок дифференциального уравнения и значения его коэффициентов полностью определяются статическими и динамическими параметрами системы S.

Таким образом, использование D-схем позволяет формализовать процесс функционирования непрерывно-детерминированных систем S и оценить их основные характеристики, применяя аналитический или имитационный подход, реализованный в виде соответствующего языка для моделирования непрерывных систем или использующий аналоговые и гибридные средства вычислительной техники.

Непрерывно-детерминированные модели **широко используются**в машиностроении при исследовании систем автоматического управления, выборе амортизирующих систем, выявлении резонансных явлений и колебаний в технике и т. п.

Дискретно-детерминированные модели (F- схемы). Дискретно-стохастические модели (P- схемы)

Дискретно- детерминированные модели (F - схемы)

Основным видом дискретно- детерминированных моделей является конечный автомат.

Конечным автоматом называют дискретный преобразователь информации, способный под воздействием входных сигналов переходить из одного состояния в другое и формировать сигналы на выходе. Это автомат **с памятью**. Для организации памяти в описание автомата вводят автоматное время и понятие **состояние автомата**.

Понятие «**состояние**» автомата означает, что выходной сигнал автомата зависит не только от входных сигналов в данный момент времени, но и учитывает входные сигналы, поступающие ранее. Это позволяет устранить время как явную переменную и выразить выходные сигналы как функцию состояний и входных сигналов.

Всякий переход автомата из одного состояния в другое возможен не ранее, чем через дискретный интервал времени. Причем сам переход считается, происходит мгновенно, то есть не учитывают переходные процессы в реальных схемах.

Существует два способа введения автоматного времени по которому автоматы делятся на **синхронные** и **асинхронные**.

В **синхронных** автоматах моменты времени, в которых фиксируются изменения состояний автомата, задаются специальным устройством - генератором синхросигналов. Причем сигналы поступают через равные интервалы времени - Δt . Частота тактового генератора выбирается такой, чтобы любой элемент автомата успел закончить свою работу до появления очередного импульса.

В **асинхронном** автомате моменты перехода автомата из одного состояния в другое заранее не определены и зависят от конкретных событий. В таких автоматах интервал дискретности является переменным.

Также существуют **детерминированные** и **вероятностные автоматы**.

В **детерминированных** автоматах поведение и структура автомата в каждый момент времени однозначно определены текущей входной информацией и состоянием автомата.

В **вероятностных** автоматах они зависят от случайного выбора.

Абстрактно конечный автомат можно представить как математическую схему (F - схему), которая характеризуется шестью видами переменных и функций:

1. конечное множество x(t) входных сигналов (входной алфавит);

2. конечное множество y(t) выходных сигналов (выходной алфавит);

3. конечное множество z(t) внутренних состояний (алфавит состояний);

4. начальное состояние автомата z0 , ;

5. функция переходов $\varphi(z,x)$ автомата из одного состояния в другое;

6. функция выходов $\psi(z,x)$ автомата.

Абстрактный конечный автомат имеет один вход и один выход. В каждый дискретный момент времени t=0,1,2,... F- автомат находится в определенном состоянии z(t) из множества Z - состояний автомата, причем в начальный момент времени t=0 он всегда находится в начальном состоянии z(0)=z0 . В момент t , будучи в состоянии z(t), автомат способен воспринять на входном канале сигнал $x(t) \in X$ и выдать на выходном канале сигнал $y(t) = \psi[z(t), x(t)]$, переходя в состояние $z(t+1) = \varphi[z(t), x(t)]$, где $z(t) \in Z, x(t) \in X$.

Абстрактный конечный автомат реализует некоторое отображение множества слов входного алфавита X на множество слов выходного алфавита Y , то есть , если на вход конечного автомата , установленного в начальное состояние z0 , подавать в некоторой последовательности буквы входного алфавита $x(0), x(1), x(2), ...$, которые составляют входное слово, то на выходе автомата будут последовательно появляться буквы выходного алфавита $y(0), y(1), y(2), ...$ образуя выходное слово.

Следовательно, работа конечного автомата происходит по следующей схеме: на каждом t - ом такте на вход автомата, находящегося в состоянии z(t), подается некоторый сигнал x(t), на который автомат реагирует переходом на (t+1)-ом такте в новое состояние z(t+1) и выдачей некоторого выходного сигнала.

В зависимости от способа определения выходного сигнала абстрактные **конечные автоматы (синхронные) подразделяются на два типа**:

1) F - **автомат первого рода**, также называется **автомат Мили**:

$$\begin{cases} z(t+1) = \varphi[z(t), x(t)], t = 0, 1, 2, ...; \\ y(t) = \psi[z(t), x(t)], t = 0, 1, 2, ...; \end{cases}$$

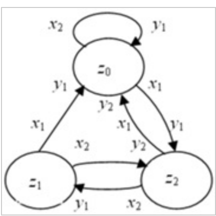
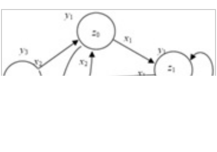


Рис.1 Граф автомата Мили

2) F - **автомат второго рода**:

$$\begin{cases} z(t+1) = \varphi[z(t), x(t)], t = 0, 1, 2, ...; \\ y(t) = \psi[z(t-1), x(t)], t = 1, 2, 3, ...; \end{cases}$$

Для которого: $y(t) = \psi[z(t)], t = 0, 1, 2, ...;$



называется **автомат Мура** - функция выходов не зависит от входной переменной x(t).

Чтобы задать конечный F - автомат, необходимо описать все элементы множества

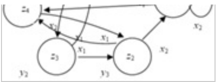


Рис.2 Граф автомата Мура

Чтобы задать конечный F - автомат, необходимо описать все элементы множества $F =< z, x, y, \psi, z_0 >$.

Существует несколько способов задания работы F - автоматов среди которых наибольшее применение нашли табличный, графический и матричный.

Дискретно-стохастические модели (Р- схемы)

Р-схемы принято называть вероятностными автоматами, с помощью которых можно определить дискретные преобразования информации с памятью.

В *ероятностный автомат* **[англ, probabilistic automat) (ВА) - это дискретный потактный преобразователь информации с памятью, функционирование которого в каждом такте зависит только от состояния памяти нем и может быть описано статистически.**

Схемы вероятностных автоматов *(Р-схем)* применяются:

- в проектировании дискретных систем, проявляющих статистически закономерное случайное поведение;
- в определении алгоритмических возможностей систем;
- в обосновании границ целесообразности их использования;
- в решении задач синтеза по выбранному критерию дискретных стохастических систем, удовлетворяющих заданным ограничениям.

Математическое понятие *Р-автомата* формируется на понятиях, введенных для *F'**-автомата.***

Пусть множество *G'*, **элементами которого являются всевозможные пары где** x_i' и z_S — элементы входного подмножества*X'* **и подмножества состояний Z соответственно . Если существуют две такие функции и , то с их помощью осуществляются отображения и , то говорят, что (1) определяет конечный автомат детерминированного типа.**

Введем более общую математическую схему. Пусть Φ — множество всевозможных пар вида *('*z_k*', '*y_j*')*, где y_j' **— элемент выходного подмножества** ***Y'***, т.е. . Пусть в любой элемент множества *G'* **индуцирует на множестве Φ некоторый закон распределения следующего вида:**

Таблица 1

Элементы из Φ	•••	('z'$_1$, 'y'$_1$)	•••	('z'$_1$, 'y'$_2$)	•••	('z_K', 'y_{J-1}')	('z_K', 'y_J')
('z_k', 'y_j')	•••	b_{11}		b_{12}		$b_{k(j-1)}$	b_{kj}

При этом , (2) где b_{kj}' **— вероятности перехода автомат в состояние** z_k' и выдаче на выходе сигнала y_j, если автомат был в состоянии z_S, и на его вход в момент времени поступил сигнал x_i. Число таких распределений, представленных в виде таблиц, равно числу элементов множества *G'**.***

Обозначим множество этих таблиц через *В*. Тогда четверка элементов (3) называется вероятностным автоматом *(Р-автоматом).*

Вероятностный автомат Мили

Пусть элементы множества *G'* **индуцируют некоторые законы распределения на подмножествах** ***Y'*** и Z, которые можно представить соответственно в виде:

Таблица 2

Элементы из Y	•••	y'_1	y_2	•••	Y_{J-1}	y_J
	•••	q_1	q_2	•••	q_{J-1}	q_J
Элементы из Z	•••	z_1	z_2	•••	z_{K-1}	z_K
	•••	n_1	n_2	•••	n_{K-1}	n_K

При этом и (4)— вероятности перехода *Р-автомата* в состояние z_k и выдачи выходного сигнала y_k' **при условии, что** ***Р-автомат*** **находился в состоянии** z_S' и на его вход поступил входной сигнал x_t'**.**

Если для всех *k'* ***и j*** **имеет место соотношение (5), то такой автомат называется** ***вероятностным автоматом Мили.*****Представленное требование означает выполнение условия независимости распределений для нового состояния** ***Р-автомата*** **и его выходного сигнала.**

Вероятностный автомат Мура

Пусть выходной сигнал *Р-автомата* зависит лишь от того состояния, в котором находится автомат в данном такте работы, каждый элемент выходного подмножества *Y'* **индуцирует распределение вероятностей выходов, имеющее следующий вид:**

Таблица 3

Элементы из Φ	•••	y_l	y_2	•••	y_{k-1}	y_k
('z_k', 'y_j')	•••	s'_1	S'_2	•••	S_{l-1}	S_l

Здесь ,(6) где S_i, — вероятность появления сигнала на выходе y_i' **при условии, что** ***Р-автомат*** **находился в состоянии** z_k'.

Частным случаем Р-автомата являются автоматы, у которых либо переход в новое состояние, либо выходной сигнал определяются детерминированно. Такой автомат называется Y-детерминированным вероятностным автоматом.

Если состояние Р-автомата определяется детерменированно, то такой автомат называется *Z-детерминированным вероятностным автоматом.*

Аналогично, Z-детерминированным вероятностным автоматом называется Р-автомат, у которого выбор нового состояния является детерминированным

Непрерывно-стохастические модели (Q -схемы). Сетевые модели (N- схемы). Комбинированные модели (А- схемы)

Непрерывно-стохастические модели (Q -схемы)

При непрерывно-стохастическом подходе в качестве типовых математических схем применяется система массового обслуживания (англ. queueing system), которые будем называть Q-схемами. Системы массового обслуживания представляют собой класс математических схем, разработанных в теории массового обслуживания и различных приложениях для формализации процессов функционирования систем, которые по своей сути являются процессами обслуживания.

В качестве процесса обслуживания могут быть представлены различные по своей физической природе процессы функционирования экономических, производственных, технических и других систем, например потоки поставок продукции некоторому предприятию, потоки деталей и комплектующих изделий на сборочном конвейере цеха, заявки на обработку информации ЭВМ от удаленных терминалов и т. д.

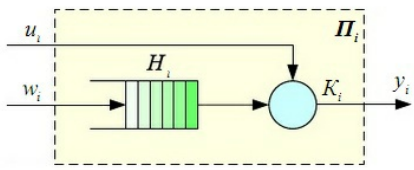
При этом характерным для работы таких объектов является случайное появление заявок (требований) на обслуживание и завершение обслуживания в случайные моменты времени, т. е. стохастический характер процесса их функционирования. Остановимся на основных понятиях массового обслуживания, необходимых для использования Q-схем, как при аналитическом, так и при имитационном.

В любом элементарном акте обслуживания можно выделить две основные составляющие:

ожидание обслуживания заявки;

собственно обслуживание заявки.

Это можно изобразить в виде некоторого *i*-го прибора обслуживания *$П_i$ (рис. 1), состоящего из накопителя заявок* $Н_i$, в котором может одновременно находиться $l_i = \overline{0, L_i^H}$ заявок, где L_i^H — емкость *i*-го накопителя, и канала обслуживания заявок (или просто канала) K_i. На каждый элемент прибора обслуживания *$П_i$, поступают потоки событий: в накопитель* $Н_i$ — *поток заявок* w_i *на канал* K_i — поток обслуживании u_i.



Потоком событий называется последовательность событий, происходящих одно за другим в какие-то случайные моменты времени. Поток событий называется однородным, если он характеризуется только моментами поступления этих событий (вызывающими моментами). Поток неоднородных событий характеризуется моментами поступления этих событий и набором признаков события Например, применительно к процессу обслуживания для неоднородного потока заявок могут быть заданы принадлежность к тому или иному источнику заявок, наличие приоритета, возможность обслуживания тем или иным типом канала и т.п.

Обычно в приложениях при моделировании различных систем применительно к элементарному каналу обслуживания K_i, можно считать, что поток заявок $w_i \in W$, т.е. интервалы времени между моментами появления заявок (вызывающие моменты) на входе K_i образует подмножество неуправляемых переменных, а поток обслуживания $u_i \in U$, т.е. интервалы времени между началом и окончанием обслуживания заявки, образует подмножество управляемых переменных. Заявки, обслуженные каналом K_i и заявки, покинувшие прибор $П_i$ по различным причинам необслуженными (например, из-за переполнения накопителя $Н_i$, образуют выходной поток $y_i \in Y$, т.е. интервалы времени между моментами выхода заявок образуют подмножество выходных переменных.

В практике моделирования систем, имеющих более сложные структурные связи и алгоритмы поведения, для формализации используются не отдельные приборы обслуживания, а Q-схемы, образуемые композицией многих элементарных приборов обслуживания (сети массового обслуживания). Для задания Q-схемы необходимо использовать оператор сопряжения R, отражающий взаимосвязь элементов структуры (каналов и накопителей) между собой.

Для задания Q-схемы также необходимо описать алгоритмы ее функционирования, которые определяют набор правил поведения заявок в системе в различных неоднозначных ситуациях. В зависимости от места возникновения таких ситуаций различают алгоритмы (дисциплины) ожидания заявок в накопителе $Н_i$ и обслуживания заявок каналом K_i. Неоднородность заявок, отражающая процесс в той или иной реальной системе, учитывается с помощью введения классов приоритетов. В зависимости от динамики приоритетов в Q-схемах различают статические и динамические приоритеты. Статические приоритеты назначаются заранее и не зависят от состояний Q-схемы, т.е. они являются фиксированными в пределах решения конкретной задачи моделирования. Динамические приоритеты возникают при моделировании в зависимости от возникающих ситуаций. Исходя из правил выбора заявок из накопителя $Н_i$ на обслуживание каналом K_i можно выделить относительные и абсолютные приоритеты. Относительный приоритет означает, что заявка с более высоким приоритетом, поступившая в накопитель $Н_i$, ожидает окончания обслуживания предшествующей заявки каналом K_i и только после этого занимает канал. Абсолютный приоритет означает, что заявка с более высоким приоритетом, поступившая в накопитель $Н_i$, прерывает обслуживание каналом K_i заявки с более низким приоритетом и сама занимает канал (при этом вытесненная из K_i заявка может либо покинуть систему, либо может быть снова записана на какое-то место в $Н_i$).

При рассмотрении алгоритмов функционирования приборов обслуживания $П_i$ необходимо также задать набор правил, по которым заявки покидают $Н_i$ и K_i.

Весь набор возможных алгоритмов поведения заявок в Q-схеме можно представить в виде некоторого оператора алгоритмов поведения заявок A.

Таким образом, Q-схема, описывающая процесс функционирования системы массового обслуживания любой сложности, однозначно задается в виде

$$Q= \langle W,U,H,Z,R,A\rangle$$

Возможности оценки характеристик с использованием аналитических моделей теории массового обслуживания являются весьма ограниченными по сравнению с требованиями практики исследования и проектирования систем, формализуемых в виде Q-схем. Несравненно большими возможностями обладают имитационные модели, позволяющие исследовать Q-схему без ограничений. На работу с Q-схемами при машинной реализации моделей ориентированы многие языки имитационного моделирования например SIMULA, SIMSCRIPT,GPSS и др.

Сетевые модели (N-схемы)

В практике моделирования объектов часто приходится решать задачи, связанные с формализованным описанием и анализом причинно-следственных связей в сложных системах, где одновременно параллельно протекает несколько процессов. Самым распространенным в настоящее время формализмом, описывающим структуру и взаимодействие параллельных систем и процессов, являются сети Петри, предложенные К. Петри.

Формально сеть Петри (N-схема) задается четверкой вида

$$N=\langle B,D,L,O\rangle,$$

где B – конечное множество символов, называемых позициями; D – конечное множество символов, называемых переходами; I – входная функция (прямая функция инцидентности); O – выходная функция (обратная функция инцидентности).

Графически N-схема изображается в виде двудольного ориентированного мультиграфа, представляющего собой совокупность позиций и переходов. Ориентировочные дуги соединяют позиции и переходы, причем каждая дуга направлена от элемента одного множества (позиции или перехода) к элементу другого множества (переходу или позиции).

Важной особенностью моделей процесса функционирования систем с использованием типовых N-схем является простота построения иерархических конструкций модели. С одной стороны, каждая N-схема может рассматриваться как макропереход или макропозиция модели более высокого уровня. С другой стороны, переход, или позиция N-схемы, может детализироваться в форме отдельной подсети для более углубленного исследования процессов в моделируемой системе S. Отсюда вытекает возможность эффективного использования N-схем для моделирования параллельных и конкурирующих процессов в различных системах.

Комбинированные модели (A-схемы)

Наиболее известным общим подходом к формальному описанию процессов функционирования систем является подход, предложенный Н.П. Бусленко. Этот подход позволяет описывать поведение непрерывных и дискретных, детерминированных и стохастических систем, т.е. по сравнению с рассмотренными является обобщенным (универсальным) и базируется на понятии агрегативной системы, представляющей собой формальную схему общего вида, которую будем называть A-схемой.

При агрегативном подходе сначала дается формальное определение объекта моделирования – агрегативной системы, которая является математической схемой, отображающей системный характер изучаемых объектов. При агрегативном описании сложный объект (система) разбивается на конечное число частей (подсистем), сохраняя при этом связи, обеспечивающие их взаимодействие. Если некоторые из полученных подсистем оказываются в свою очередь еще достаточно сложными, то процесс их разбиения продолжается до тех пор, пока не образуются подсистемы, которые в условиях рассматриваемой задачи моделирования могут считаться удобными для математического описания. В результате такой декомпозиции сложная система представляется в виде многоуровневой конструкции из взаимосвязанных элементов, объединенных в подсистемы различных уровней.

В качестве элемента A-схемы выступает агрегат, а связь между агрегатами (внутри системы S и с внешней средой E) осуществляется с помощью оператора сопряжения R. Очевидно, что агрегат сам может рассматриваться как A-схема, т.е. может разбиваться на элементы (агрегаты) следующего уровня.

Использование обобщенной типовой математической схемы моделирования, т.е. A-схемы, в принципе не отличается от D-, F-, P- ,Q- , N-схем. Для частного случая, а именно для кусочно-линейных агрегатов, результаты могут быть получены аналитическим методом. В более сложных случаях, когда применение аналитических методов неэффективно или невозможно прибегают к имитационному методу, причем представление объекта моделирования в виде A-схемы может являться тем фундаментом, на котором базируется построение имитационной системы и ее внешнего и внутреннего математического обеспечения.

Имитационное моделирование (ИМ). Области использования и достоинства ИМ. Проблемы ИМ

Основные определения

Имитационное моделирование (ситуационное моделирование) — метод, позволяющий строить модели, описывающие процессы так, как они проходили бы в действительности. Такую модель можно «проиграть» во времени как для одного испытания, так и заданного их множества. При этом результаты будут определяться случайным характером процессов. По этим данным можно получить достаточно устойчивую статистику.

Имитационное моделирование — это метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему, с которой проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе. Экспериментирование с моделью называют имитацией (имитация — это постижение сути явления, не прибегая к экспериментам на реальном объекте).

Имитационное моделирование — это частный случай математического моделирования. Существует класс объектов, для которых по различным причинам не разработаны аналитические модели, либо не разработаны методы решения полученной модели. В этом случае аналитическая модель заменяется имитатором или имитационной моделью.

Имитационным моделированием иногда называют получение частных численных решений сформулированной задачи на основе аналитических решений или с помощью численных методов.

Имитационная модель — логико-математическое описание объекта, которое может быть использовано для экспериментирования на компьютере в целях проектирования, анализа и оценки функционирования объекта.

Применение имитационного моделирования

К имитационному моделированию прибегают, когда :

- дорого или невозможно экспериментировать на реальном объекте;

- невозможно построить аналитическую модель: в системе есть время, причинные связи, последствие, нелинейности, стохастические (случайные) переменные;

- необходимо сымитировать поведение системы во времени.

Цель имитационного моделирования состоит в воспроизведении поведения исследуемой системы на основе результатов анализа наиболее существенных взаимосвязей между ее элементами или другими словами — разработке симулятора исследуемой предметной области для проведения различных экспериментов.

Имитационное моделирование позволяет имитировать поведение системы во времени. Причём плюсом является то, что временем в модели можно управлять: замедлять в случае с быстропротекающими процессами и ускорять для моделирования систем с медленной изменчивостью. Можно имитировать поведение тех объектов, реальные эксперименты с которыми дороги, невозможны или опасны. С наступлением эпохи персональных компьютеров производство сложных и уникальных изделий, как правило, сопровождается компьютерным трёхмерным имитационным моделированием. Эта точная и относительно быстрая технология позволяет накопить все необходимые знания, оборудование и полуфабрикаты для будущего изделия до начала производства. Компьютерное 3D моделирование теперь не редкость даже для небольших компаний.

Подходы имитационного моделирования

Агентное моделирование — относительно новое (1990-е-2000-е гг.) направление в имитационном моделировании, которое используется для исследования децентрализованных систем, динамика функционирования которых определяется не глобальными правилами и законами (как в других парадигмах моделирования), а наоборот, когда эти глобальные правила и законы являются результатом индивидуальной активности членов группы. Цель агентных моделей — получить представление об этих глобальных правилах, общем поведении системы, исходя из предположений об индивидуальном, частном поведении ее отдельных активных объектов и взаимодействии этих объектов в системе. Агент — некая сущность, обладающая активностью, автономным поведением, может принимать решения в соответствии с некоторым набором правил, взаимодействовать с окружением, а также самостоятельно изменяться.

Дискретно-событийное моделирование — подход к моделированию, предлагающий абстрагироваться от непрерывной природы событий и рассматривать только основные события моделируемой системы, такие как: «ожидание», «обработка заказа», «движение с грузом», «разгрузка» и другие. Дискретно-событийное моделирование наиболее развито и имеет огромную сферу приложений — от логистики и систем массового обслуживания до транспортных и производственных систем. Этот вид моделирования наиболее подходит для моделирования производственных процессов. Основан Джеффри Гордоном в 1960-х годах.

Системная динамика — парадигма моделирования, где для исследуемой системы строятся графические диаграммы причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени, а затем созданная на основе этих диаграмм модель имитируется на компьютере. По сути, такой вид моделирования более всех других парадигм помогает понять суть происходящего выявления причинно-следственных связей между объектами и явлениями. С помощью системной динамики строят модели бизнес-процессов, развития города, модели производства, динамики популяции, экологии и развития эпидемии. Метод основан Джеем Форрестером в 1950 годах.

Области применения

Бизнес-процессы

Боевые действия

Динамика населения

Дорожное движение

ИТ-инфраструктура

Математическое моделирование исторических процессов

Логистика

Пешеходная динамика

Производство

Рынок и конкуренция

Сервисные центры

Цепочки поставок

Уличное движение

Управление проектами

Экономика здравоохранения

Экосистема

Теоретические основы метода статистического моделирования. Предельные теоремы Бернулли, Чебышева. Центральная предельная теорема

Содержание

Теоретические основы метода статистического моделирования

В основе статистического моделирования лежит процедура, применяемая для моделирования случайных величин и функций и носящая название метода статистических испытаний (метод Монте-Карло).

Общая схема метода Монте-Карло может быть записана в виде

$$\theta = \int y(x)\,p(x)dx \approx \widetilde{\theta} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M} y(x_i), \quad x_i \approx p(x). \qquad (1.1)$$

Результат ищется как математическое ожидание некоторой случайной величины Y, которая чаще всего является неслучайной функцией случайной величины X, имеющей распределение p(x). Нестрогое выражение “случайная величина X имеет распределение p(x)” и запись X~p(x) означают для непрерывной случайной величины, что ее плотность вероятности равна p(x); для дискретной случайной величины функцию p(x) надо понимать как функцию вероятности. Для дискретной случайной величины интеграл (1.1) заменяется суммой S y(x)p(x), в которой суммирование осуществляется по всем возможным значениям X. Функция y(x) может иметь несколько аргументов, т.е. зависеть от нескольких случайных величин. В таком случае запись (1.1) остается в силе, только интеграл надо считать многомерным, X рассматривать как вектор, а p(x) – как многомерную плотность (или функцию) вероятности. Приближенная оценка неизвестного математического ожидания, совпадающая с искомым результатом, находится как среднее арифметическое результатов независимых опытов. Это отражено в правой части (1.1). По закону больших чисел среднее арифметическое сходится к математическому ожиданию.

В каждом опыте разыгрывается реализация x случайной величины X (в i-м опыте реализация x_i) в соответствии с распределением p(x) и вычисляется значение функции в виде $y(x_i)$. Индекс i подчеркивает, что для каждой (i-й) реализации процесса аргументы, составляющие вектор X, имеют свои случайные значения. Вычисленное очередное значение $y(x_i)$ добавляется к накапливаемой сумме S $y(x_i)$. На этом заканчивается очередной опыт. После того как проведено M опытов, вычисляется итоговая оценка в виде правой части выражения (1.1). Опыты повторяются до тех пор, пока дисперсия оценки $\tilde{\theta}$ не снизится до требуемой величины, зависящей от допустимой погрешности и коэффициента доверия.

Теорема Бернулли

Теорема Бернулли в теории вероятностей утверждает, что при многократном повторении случайного эксперимента с двумя исходами относительная частота успехов приближается к вероятности успеха в одном испытании.

Формулировка

Рассмотрим схему Бернулли с вероятностью успеха $0 \le p \le 1$, то есть пусть дана последовательность независимых случайных величин $\{X_n\}_{n=1}^{\infty}$, где

$$X_n = \begin{cases} 1, & p \\ 0, & 1-p. \end{cases}, \quad n \in \mathbb{N}.$$

Определим $Y_n, n \in \mathbb{N}$ как число успехов в первых n испытаниях:

$$Y_n = \sum_{i=1}^{n} X_i.$$

Тогда

$$\frac{Y_n}{n} \xrightarrow{\mathbb{P}} p \text{ при } n \to \infty.$$

то есть

$$\forall \epsilon > 0 \ \lim_{n\to\infty} \mathbb{P}\left(\left|\frac{Y_n}{n} - p\right| > \epsilon\right) = 0.$$

Схема Бернулли

Последовательность $\{X_n\}_{n=1}^{\infty}$ независимых случайных величин, имеющих распределение Бернулли, называется **схемой Бернулли**. Физически схема Бернулли моделирует многократное проведение независимых реализаций одного и того же случайного эксперимента с двумя исходами: успех и неудача. Случайное событие $\{X_i = 1\}$ соответствует успеху в результате i-го испытания, а событие $\{X_i = 0\}$ соответствует неудаче.

Закон больших чисел Бернулли

Пусть производится последовательность независимых испытаний, в результате каждого из которых может наступить или не наступить событие A, причем вероятность наступления этого события одна и та же при каждом испытании и равна p. Если событие A фактически произошло m раз в n испытаниях, то отношение m/n называют, как мы знаем, частотой появления события A. Частота есть случайная величина, причем вероятность того, что частота принимает значение m/n, выражается по формуле

Бернулли:

$$\mathbb{P}_n(m) = C_n^m p^m q^{n-m}$$

Закон больших чисел в форме Бернулли состоит в следующем:с вероятностью, сколь угодно близкой к единице, можно утверждать, что при достаточно большом числе опытов частота появления события А как угодно мало отличается от его вероятности, т.е.

$$\forall \varepsilon > 0 \ \mathbb{P}(\left|\frac{m}{n} - p\right| > \varepsilon) \underset{n\to\infty}{\longrightarrow} 0$$

иными словами, при неограниченном увеличении числа n опытов частота m/n события A сходится по вероятности к P(A).

Закон больших чисел Чебышева

Имеет место следующее утверждение. Пусть$\xi_1, \xi_2, ..., \xi_n, ...$ - последовательность попарно независимых случайных величин, имеющих ограниченные в совокупности дисперсии, т. е. $\mathbb{D}\xi_i \leq C$ для любого i. Тогда, каково бы ни было ε>0, справедливо соотношение

$$\lim_{n\to\infty} P\left[\left|\frac{\xi_1+\xi_2+...+\xi_n}{n} - \frac{M(\xi_1)+M(\xi_2)+...+M(\xi_n)}{n}\right| < \varepsilon\right] = 1 \quad (*)$$

Смысл закона больших чисел Чебышева состоит в следующем. В то время как отдельная случайная величина может принимать значения, очень далекие от своего математического ожидания, средняя арифметическая большого числа случайных величин с вероятностью, близкой к единице, принимает значение, мало отличающееся от среднего арифметического их математических ожиданий.

Частный случай закона больших чисел Чебышева. Пусть$\xi_1, \xi_2, ..., \xi_n, ...$ - последовательность попарно независимых случайных величин, имеющих ограниченные в совокупности дисперсии, т.е. $\mathbb{D}\xi_i \leq C$ и одинаковые математические ожидания $M(\xi_i) = a$. Тогда, каково бы ни было ε>0, справедливо соотношение

$$\lim_{n\to\infty} P\left\{\left|\frac{\xi_1+\xi_2+...+\xi_n}{n} - a\right| < \varepsilon\right\} = 1$$

Это непосредственно следует из формулы (*), так как

Центральная предельная теорема

П у с т ь$\xi_1, \ldots, \xi_n$ — независимые одинаково распределённые случайные величины, $\exists \mathbb{E}\xi_i = a < \infty, \ \exists \mathbb{D}\xi_i = \sigma^2 < \infty, \ \sigma \neq 0$.

Тогда $\mathbb{P}\left(\dfrac{\sum_{i=1}^n \xi_i - n\mathbb{E}\xi_i}{\sqrt{n\mathbb{D}\xi_i}} < x\right) \underset{n\to\infty}{\overset{x}{\rightrightarrows}} \Phi(x)$, где $\Phi(x) = \dfrac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^x e^{\frac{-u^2}{2}}\,du$ — стандартное нормальное распределение.

Применение теории массового обслуживания при моделировании систем

Содержание

Теория массового обслуживанияда

Теория массового обслуживания (теория очередей) — раздел теории вероятностей, целью исследований которого является рациональный выбор структуры системы обслуживания и процесса обслуживания на основе изучения потоков требований на обслуживание, поступающих в систему и выходящие из неё, длительности ожидания и длины очередей. В теории массового обслуживания используются методы теории вероятностей и математической статистики.

Теорию потока однородных событий, которая легла в основу теории массового обслуживания, разработал советский математик А. Я. Хинчин.

Первые задачи ТМО (Теории Массового Обслуживания) были рассмотрены сотрудником Копенгагенской телефонной компании, ученым Агнером Эрлангом, в период между 1908 и 1922 годами. Стояла задача упорядочить работу телефонной станции и заранее рассчитать качество обслуживания потребителей в зависимости от числа используемых устройств.

Имеется телефонный узел (обслуживающий прибор), на котором телефонистки время от времени соединяют отдельные номера телефонов друг с другом. Системы массового обслуживания (СМО) могут быть двух видов: с ожиданием и без ожидания (то есть с потерями). В первом случае вызов (требование, заявка), пришедший на станцию в момент, когда занята нужная линия, остается ждать момента соединения. Во втором случае он «покидает систему» и не требует забот СМО.

Система массового обслуживания

Система массового обслуживания (СМО) — система, которая производит обслуживание поступающих в неё требований. Обслуживание требований в СМО производится обслуживающими приборами. Классическая СМО содержит от одного до бесконечного числа приборов. В зависимости от наличия возможности ожидания поступающими требованиями начала обслуживания СМО подразделяются на:

- системы с потерями, в которых требования, не нашедшие в момент поступления ни одного свободного прибора, теряются;
- системы с ожиданием, в которых имеется накопитель бесконечной ёмкости для буферизации поступивших требований, при этом ожидающие требования образуют очередь;
- системы с накопителем конечной ёмкости (ожиданием и ограничениями), в которых длина очереди не может превышать ёмкости накопителя; при этом требование, поступающее в переполненную СМО (отсутствуют свободные места для ожидания), теряется.

Выбор требования из очереди на обслуживание производится с помощью так называемой дисциплины обслуживания. Их примерами являются FCFS/FIFO (пришедший первым обслуживается первым), LCFS/LIFO (пришедший последним обслуживается первым), random (англ.)(случайный выбор). В системах с ожиданием накопитель в общем случае может иметь сложную структуру.

Классификация СМО

Системы массового обслуживания классифицируют по разным признакам. К таким признакам относятся условия ожидания требования начала обслуживания. В соответствии с этим признаком системы подразделяются на следующие виды:

- системы массового обслуживания с потерями (отказами);
- системы массового обслуживания с ожиданием;
- системы массового обслуживания с ограниченной длиной очереди;
- системы массового обслуживания с ограниченным временем ожидания.
- Системы массового обслуживания, у которых требования, поступающие в момент, когда все приборы обслуживания заняты, получают отказ и теряются, называются системами с потерями или отказами.

- Системы массового обслуживания, у которых возможно появление как угодно длинной очереди требований к обслуживающему устройству, называются системами с ожиданием.

- Системы массового обслуживания, допускающие очередь, но с ограниченным числом мест в ней, называются системами с ограниченной длиной очереди.
- Системы массового обслуживания, допускающие очередь, но с ограниченным сроком пребывания каждого требования в ней, называются системами с ограниченным временем ожидания.

По числу каналов или приборов системы делятся на одноканальные и многоканальные.

По месту нахождения источника требований системы массового обслуживания делятся на разомкнутые, когда источник находится вне системы, и замкнутые, когда источник находится в самой системе. К последнему виду относится, например, станочный участок, в котором станки являются источником неисправностей, а следовательно, и требований на их обслуживание.

Одной из форм классификации систем массового обслуживания является кодовая (символьная) классификация Д.Кендалла. При этой классификации характеристику системы записывают в виде трех, четырех или пяти символов, например A \ B\ S, где A — тип распределения входящего потока требований, B — тип распределения времени обслуживания, S — число каналов обслуживания.

Для экспоненциального распределения принимают символ M, для любого (произвольного) распределения — символ G. Запись G / M / 3 означает, что входящий поток требований пуассоновский (простейший), время обслуживания распределено по экспоненциальному закону, в системе имеется три канала обслуживания.

Четвертый символ указывает допустимую длину очереди, а пятый — порядок отбора (приоритета) требований.

Задачи теории СМО

Задача теории массового обслуживания состоит в выработке рекомендаций по рациональному построению СМО и рациональной организации их работы с целью обеспечения высокой эффективности обслуживания при оптимальных затратах.Главная особенность задач данного класса – явная зависимость результатов анализ и получаемых рекомендаций от двух внешних факторов: частоты поступления и сложности заказов (а значит и времени их исполнения).

Теория 22

Содержание

Основные понятия теори СМО

Требование (заявка) — запрос на обслуживание.

Входящий поток требований — совокупность требований, поступающих в СМО.

Время обслуживания — период времени, в течение которого обслуживается требование.

Математическая модель СМО — это совокупность математических выражений, описывающих входящий поток требований, процесс обслуживания и их взаимосвязь.

Потоки событий

Однородный поток

Поток заявок однороден, если:

-все заявки равноправны

-рассматриваются только моменты времени поступления заявок, т.е. факты заявок без уточнения деталей каждой конкретной заявки.

Поток без последействия

Поток без последействия, если число событий любого интервала времени (t, t+x) не зависит от числа событий на любом другом непересекающемся с нашим (t, t+x)интервале времени.

Стационарный поток

Поток заявок стационарен, если вероятность появления n событий на интервале времени (t, t+x) не зависит от времени t, а зависит только от длины этого участка.

Простейший поток

Однородный стационарный поток без последействий является простейшим, потоком Пуассона.

Число n событий такого потока, выпадающих на интервал x, распределено по Закону Пуассона:

$$P(n,x) = \frac{(\lambda x)^n e^{-\lambda x}}{n!}$$

Пуассоновский поток заявок удобен при решении задач ТМО. Строго говоря, простейшие потоки редки на практике, однако многие моделируемые потоки допустимо рассматривать как простейшие.

Математическая модель простейшего Пуассоновского потока

На практике чаще всего ограничиваются рассмотрением простейшего (Пуассоновского) потока заявок.

Поток событий, обладающий свойствами ординарности, стационарности и отсутствия последействия, называется простейшим (или стационарным Пуассоновским) потоком . Простейшим этот поток назван потому, что исследование систем, находящихся под воздействием простейших потоков, проводится самым простым образом.

Для простейшего потока событий вероятность того, что на участке времени длины τ наступит ровно k событий, имеет распределение Пуассона с параметром α=λτ:

$$P\{X(t,\tau = k)\} = \alpha^k e^{-a} / k!$$

(k=0, 1, 2, ...), где λ – интенсивность потока событий.

Физический смысл λ – это среднее число событий, приходящееся на единицу времени (число заявок в единицу времени); размерность – 1/время.

Распределение интервалов между заявками для простейшего потока будет экспоненциальным (показательным) с функцией распределения вероятностей и функцией плотности распределения вероятностей соответственно:

$$F(\tau) = P(t \le \tau) = 1 - e^{-\lambda\tau}$$

Математическое ожидание и дисперсия длины интервала времени между последовательными моментами поступления событий соответственно:

Свойства простейшего пуассоновского потока

Ординарность. Поток называется ординарным, если события в нем происходят по одному, а не группами по 2, 3 и т.д. Ординарность потока означает, что вероятность попадания на элементарный участок Δt двух или более событий пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью попадания на него ровно одного события, т.е. при $\Delta t \to 0$ эта вероятность представляет собой бесконечно малую высшего порядка:

Для ординарного потока можно пренебречь возможностью совместного появления на элементарном участке двух и более событий. В каждый момент времени в систему может поступать не более одной заявки.

Примерами ординарных потоков событий могут служить поток деталей, поступающих на конвейер для сборки; поток отказов технического устройства и т.д. Пример неординарного потока – поток пассажиров, прибывающих в лифте на данный этаж. Если в неординарном потоке события происходят только парами, тройками и т.д., то рассматривают ординарный поток пар, троек и т.д.

Отсутствие последействия. Для любых не перекрывающихся участков времени τ_1, τ_2,…,τ_{n-1}, τ_n …, числа событий X_1=X(t_1, τ_1), X_2=X(t_2, τ_2),… X_n=X(t_n, τ_n), попадающих на эти участки, представляют собой независимые случайные величины, т.е. вероятность попадания любого числа событий на один из участков не зависит от того, сколько их попало на другие.

Отсутствие последействия означает, что для любого момента времени t0, будущие моменты наступления события потока (при t>t0) не зависят от того, в какие моменты наступали события в прошлом (при t<t0).

Ординарный поток событий, в котором отсутствует последействие, называется пуассоновским потоком.

Стационарность. Поток событий называется стационарным, если все его вероятностные характеристики не меняются со временем. В частности, для стационарного потока событий вероятность попадания того или иного числа событий на участок длины τ зависит только от длины этого участка и не зависит от того, где именно на оси времени 0t этот участок расположен. Это значит, что числа событий X_1=X(t_1, τ_1) и X_2=X(t_2, τ_2), попадающих на два участка одинаковой длины, будут иметь одинаковые распределения. Отсюда следует, в частности, что для стационарного потока событий его интенсивность λ(t) постоянна.

Теория 23

Оценка точности, режимы работы системы.

Оценка точности результатов моделирования связана с построением доверительных интервалов для выходных переменных (откликов) модели. Количество реализаций (прогонов модели) и время прогона для каждой реализации модели определяют точность результатов. Если модель детерминированная, то для получения точных результатов моделирования достаточно одного прогона. В общем случае данные одного прогона модели представляют единичную выборку или временной ряд. Временной ряд - это конечная реализация случайного процесса, т.е. в результате каждого прогона модели образуются временные ряды для каждого значения отклика модели исследуемых стохастических процессов. Для стохастических моделей рассматривают два режима работы: переходный и стационарный. Стационарный режим определяется стационарным процессом на выходе модели.

Если модель работает в переходном режиме, то необходимое количество прогонов модели можно рассчитать по тем же формулам, что и для метода статистических испытаний. Не¬обходимую точность ε можно задать равной ± 5% от среднего значения величины, для которой строится доверительный интервал при α = 0,95.

Для стационарных режимов работы системы, модель которой регенерирует (повторяется в вероятностном смысле), используют метод построения доверительных интервалов.

Если число прогонов небольшое (менее тридцати), то при по¬строении доверительного интервала используют распределение Стьюдента (t-распределение). При большем числе прогонов можно использовать функцию нормального распределения.

Если критерием оценки является стоимостная характеристика (доход, прибыль, затраты и т. п.), которая определяется для стационарного режима работы модели, то длина прогона может быть определена по результатам наблюдения за изменением величины, равной отношению оцениваемого показателя за весь период моделирования к продолжительности моделирования (например, затраты за единицу времени).

Оценку точности результатов моделирования обычно выполняют для самого медленного процесса в модели. В этом случае оценки для быстрых процессов будут заведомо намного лучше, чем для медленного про¬цесса, т.е. доверительные интервалы для них будут меньше. При раз¬работке имитационной модели обычно выбирают степень детализа¬ции модели так, чтобы скорости протекающих в ней процессов не различались более, чем на два порядка. В случаях моделирования редких событий (медленные процессы), например, отказов оборудования, необходимо укрупнять состояния для быстрых процессов. Для того обычно используют аналитико-имитационные модели.

Обработка результатов имитационных экспериментов принципиально не может дать точных значений (т.к. моделируются случайные процессы, и мы можем их только как-то оценить). Существует некая степень точности результатов - приближение к какому-то истинному значению. И эта степень точности в значительной мере определяется размером выборки (количеством реализаций).

Задача определения такого размера выборки, который позволяет обеспечить желаемый уровень точности и в то же время минимальную стоимость моделирования, весьма трудна, но и весьма важна.

Число испытаний N определяет точность получаемых результатов моделирования. Если необходимо оценить величину случайного параметра X по результатам моделирования x1, x2, … xn, то за оценку следует брать величину xср. Но из-за случайности xср будет отличаться от истинного значения параметра X, а если мы зададимся какой-то точностью оценки (назовем ее - e), то должно выполняться неравенство:

|X-xср|<e

e - точность оценки величины случайного параметра X; (половина ширины доверительного интервала)

xср - среднее значение результатов моделирования x1, x2, … xn.

Вероятность того, что данное неравенство выполняется, называют уровнем значимости или доверительной вероятностью:

P(|X-xср|<e)=a

a - уровень значимости, доверительная вероятность, (1-a) - достоверность.

Это выражение и берется за основу при определении точности результатов статистических испытаний, т.е. результатов имитационных экспериментов.

a и e - задаем сами.

Определение количества реализаций для оценки вероятности наступления события.

Отклики моделей обычно одно из двух состояний, например успех - неудача. Такие отклики называют переменными Бернулли. Они характеризуются биномиальным распределением.

Пусть целью моделирования будет определение вероятности наступления некоторого события A, определяющего какое-то состояние моделируемой системы. В любой из реализаций процесс наступления события A является случайной величиной, которая может приобретать значение x1=1 с вероятностью p (т.е. событие наступило) и x2=0 с вероятностью 1-p.

На основе центральной предельной теоремы, можно найти количество реализаций для оценки вероятности наступления события с заданным уровнем значимости и точностью.

Центральная предельная теорема: распределение суммы независимых наблюдений n различных СВ стремится к нормальному, независимо от характера распределения СВ.

$$N = t_\alpha^{\ 2} \frac{p(1-p)}{\varepsilon^2} + 1$$

ε^2

t_a - квантиль нормального распределения вероятностей. Находится из специальных таблиц распределения Стьюдента (t-распределение) на основе заданного уровня значимости и определенных степеней свободы.

Число степеней свободы: ν = k - 1 - m, (k - число значений или интервалов СВ; т - число определяемых параметров).

Для определения вероятности p делают пробные испытания (N=50…100) и получают частоту m/N, после чего определяют конечное количество испытаний.

p=m/N

Определение количества реализаций для оценки среднего значения случайной величины.

Случайная величина имеет математическое ожидание m и дисперсию s2.

На основе центральной предельной теоремы количество реализаций N для оценки среднего значения случайной величины будет

$$N = \frac{t_\alpha^2 \sigma^2}{\varepsilon^2} + 1$$

Величину σ нужно либо знать, либо для ее определения нужно провести пробный эксперимент и найти ее оценку.

Если мы имеем представление о пределах, в которых может изменяться отклик системы, то грубую оценку величины σ можно получить из условия, что размах переменной отклика равен примерно 4σ: Если известен разумный размах переменной отклика - d, то σ=d/4.

Для определения оценки s2 проводят 50…100 испытаний и определяют по формуле:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1}\left[\sum_{i=1}^{N} x_i^2 - \frac{1}{N}\left(\sum_{i=1}^{N} x_i\right)^2\right]$$

ЭС на основе тории Демстера-Шеффера (ТДШ). Предпосылки возникновения теории.

Основными предпосылками возникновения ТДШ явилось преодоление ряда ограничений, которые накладывались в теории вероятности при представлении неопределенных знаний.

К таким ограничениям относятся:

- Представление полного незнания, когда мы ничего не знаем об объекте. Связанно с тем, что традиционный Байесовский подход представляет незнание равномерными вероятностями.

- Жесткие условия ∑Pi = 1, что требует знания или определения вероятности всех возможных гипотез. Определяется тем, что во многих ситуациях эксперту сложно остаться в рамках строго математического аппарата теории вероятности. Т.к. в большинстве случаев, реально наблюдаемые свойства подтверждают ни какой либо один подход, а сразу множество, что не позволяет определить вероятность каждого из них. Кроме того, при большом количестве вероятностей необходимо нарушать жесткие условия.

- Фиксирование вероятности отрицательной гипотезы вероятностью прямой гипотезы P(И) + P(┐И) = 1.

Классификация языков и систем моделирования

. Классификации языков моделирования

Для машинного моделирования системы S' **пригодны три способа проведения вычислений, в основе которых лежит применение цифровой, аналоговой и гибридной вычислительной техники рис. 1.**

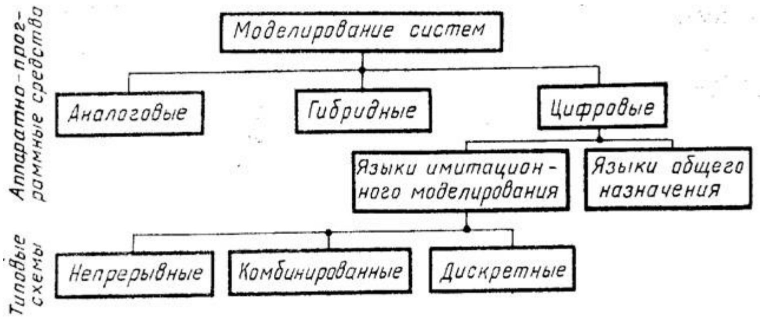


Рис. 1.

Для моделирования систем используются как универсальные и процедурно-ориентированные ЯОН, так и специализированные ЯИМ. При этом ЯОН предоставляют программисту-разработчику модели $M_{м}$ больше возможностей в смысле гибкости разработки, отладки и использования модели. Но гибкость приобретается ценой больших усилий, затрачиваемых на программирование модели, так как организация выполнения операций, отсчет системного времени и контроль хода вычислений существенно усложняются.

Имеющиеся ЯИМ можно разбить на три основные группы, соответствующие трем типам математических схем: непрерывные, дискретные и комбинированные. Языки каждой группы предназначены для соответствующего представления системы S' **при создании ее машинной модели** $\boldsymbol{M_{м}}$**.**

В основе рассматриваемой классификации в некоторых ЯИМ лежит принцип формирования *системного времени.* Так как «системные часы» предназначены не только для продвижения системного времени в модели $M_{м}$, но также для синхронизации различных событий и операций в модели системы S'**, то при отнесении того или иного конкретного языка моделирования к определенному типу нельзя не считаться с типом механизма «системных часов».**

Непрерывное' **представление системы** $\boldsymbol{S'}$ сводится к составлению уравнений, с помощью которых устанавливается связь между зависимыми и независимыми переменными модели. Примером такого непрерывного подхода является использование дифференциальных уравнений. Причем в дальнейшем дифференциальные уравнения могут быть применены для непосредственного получения характеристик системы.

Представление системы S' **в виде типовой схемы, в которой участвуют как непрерывные, так и дискретные величины, называется** ***комбинированным.*** **Состояние модели системы** $\boldsymbol{M(S')}$ описывается набором переменных, некоторые из которых меняются во времени непрерывно. Законы изменения непрерывных компонент заложены в структуру, объединяющую дифференциальные уравнения и условия относительно переменных. Предполагается, что в системе могут наступать события двух типов:

1) события, зависящие от состояния системы;

2) события, зависящие от времени.

События первого типа наступают в результате выполнения условий, относящихся к законам изменения непрерывных переменных.

Для событий второго типа процесс моделирования состоит в продвижении системного времени от момента наступления события до следующего аналогичного момента.

В рамках *дискретного подхода* можно выделить несколько принципиально различных групп ЯИМ.

Первая группа ЯИМ подразумевает наличие списка событий, отличающих моменты начала выполнения операций. Продвижение времени осуществляется по событиям, в моменты наступления которых производятся необходимые операции, включая операции пополнения списка событий.

При использовании ЯИМ второй группы после пересчета системного времени, в отличие от схемы языка событий, просмотр действий с целью проверки выполнения условий начала или окончания какого-либо действия производится непрерывно. Просмотр действий определяет очередность появления событий.

Третья группа ЯИМ описывает системы, поведение которых определяется процессами. В данном случае под процессом понимается последовательность событий, связь между которыми устанавливается с помощью набора специальных отношений. Динамика заложена в независимо управляемых программах, которые в совокупности составляют программу процесса.

При моделировании динамических систем на ЭВМ в первую очередь необходимо представить их математические модели в виде программ. Следовательно, большое значение при реализации модели имеет правильный выбор языка моделирования.

Язык моделирования должен обеспечить: 1) удобство описания процесса функционирования системы, 2) удобство ввода исходных данных, 3) составление и варьирование структуры, параметров модели, 4) реализуемость как детерминированного, так и статистического моделирования.

Эффективность языков моделирования существенно зависит от наличия диалоговых и графических средств. Удобство языка моделирования во многом определяется ориентацией на определенную предметную область. И, наконец, языки моделирования должны обеспечивать решение всех задач исследования и анализа результатов. Отсюда большое разнообразие языков моделирования. Был создан не один десяток языков и систем моделирования.

В 50-е и 60-е годы прошлого века моделирование осуществлялось с помощью универсальных алгоритмических языков программирования. Таких как Фортран, Алгол, т.е. языков общего назначения. Применение таких языков требует высокой программистской квалификации. Вместе с тем программы получаются большими, громоздкими, требующими длительной отладки моделей. Ограничены возможности перестроить, видоизменить модель при необходимости. В результате такой способ программирования моделей малоэффективен, ненагляден и затруднителен для широкого пользователя.

Позднее стали появляться системы моделирования, в основе которых был расширенный универсальный язык программирования. Рас¬ширение универсального языка, надстройка его учитывала специфику решаемого круга задач, специфику моделируемого объекта. К таким языковым средствам моделирования относится DSL (Digital Simula¬tion Language) фирмы IBM для моделирования непрерывных систем.

Дальнейшим развитием стала система CSMP, в основе которой были заранее запрограммированные функциональные блоки, наподобие блоков на аналоговых машинах. Расширенный ФОРТРАН в системе CSMP включал возможности обращения манипуляции этими блоками при разработке программы, реализующей ту или иную модель. Здесь широко используются операторы Фортрана. Однако в подобных системах большинство трудностей моделирования сохранилось.

Подобные языки называют еще моделирующими языками высокого уровня или универсальными моделирующими языками.

Разработан ряд моделирующих языков высокого уровня для моделирования дискретных систем, систем массового обслуживания. Таких, как SIMULA, SIMSCRIPT, GPSS, CSL и др.

SIMULA представляет собой расширение языка АЛГОЛ, SIMSCRIPT — расширение Фортрана. Наибольшее распространение из этих языков получил язык GPSS. В GPSS важное место занимает обработка таких объектов, как транзакты (сообщения, заявки, запросы).

Языки моделирования цифровых систем в основном обеспечивают задачи разработки цифровой аппаратуры. Их называют HDL или на русском языке — языки описания аппаратуры (ЯОА). Наиболее известным и эффективным ЯОА сегодня является язык VHDL. VHDL является единым, общим языком описания моделей и проектирования электронных устройств, начиная с вентильного, регистрового уровней и кончая уровнем описания вычислительных систем. Но основное назначением языка VHDL — описание заданий на моделирование.

Для моделирования непрерывных динамических систем получил распространение язык CSMP, который реализует пакетный режим взаимодействия с пользователем. Появились и другие языки и системы моделирования непрерывных процессов, такие как MIDAS, PACTOLUS, CSSL. К отечественным языкам и системам моделирования непрерывных динамических систем относятся МАСЛИН и МАСС (разработанные сотрудниками МЭИ). Примерами языков, реализующих комбинированное моделирование являются GASP, НЕДИС и МИКС.

GASP является расширением языка ФОРТРАН. Здесь непрерывные алгоритмы моделируются дифференциальными уравнениями, а дискретные процессы представляются в виде событий, наступление которых зависит от процесса функционирования системы. Событие — переход системы из одного состояния в другое в соответствии с принятыми правилами.

НЕДИС — язык моделирования непрерывно-дискретных систем разработан сотрудниками Института кибернетики Академии наук Украины. НЕДИС создан на основе алгоритмических языков высокого уровня и относится к системам программирования универсального типа, т.е. языки GASP и НЕДИС относятся к процедурным языкам программирования.

МИКС (моделирование имитационное комбинированных систем) представляет собой удобное средство моделирования. Как и язык МАСЛИН, МАСС система МИКС имеет в своей основе блочно-ориентированный язык с непроцедурной технологией программирования, позволяющей легко и быстро моделировать исследуемую систему, осуществлять быстрое преобразование модели, воспроизводить реально действующие сигналы и организовать вычислительный эксперимент. Блочные языки и соответствующие программные модули позволяют легко реализовать динамическое распределение памяти посредством размещения во внешнее запоминающее устройство (ВЗУ) больших библиотек модулей, извлекать их по мере необходимости, пересылать их в оперативную память.

Нельзя не упомянуть здесь такие программные системы как MathCad, Matlab, Matrix, которые нашли применение для решения большого круга задач с помощью программ, реализующих широко используемые математические методы решения разнообразных уравнений и систем, задач оптимизации, линейного программирования, для отладки типовых алгоритмов регулирования, для решения задач идентификации и проектирования.

Для нас интерес представляют средства моделирования, встроенные в упомянутые системы. В этих комплексных системах используются такие средства моделирования как SYSTEM BULD и SIMULINK. Языки моделирования этих средств блочно-ориентированные и близки к языку моделирования системы МАСС. Но поскольку SYSTEM BULD и SIMULINK являются подсистемами комплексных систем, то освоение технологии работы с ними требует дополнительных знаний помимо знания языка моделирования. Например, SIMULINK не может работать без матричной системы MATLAB. Другими словами, средствам моделирования в этих системах принадлежит вторичная роль.

Качественные методы моделирования систем

Это наиболее распространенные на сегодняшний день методы моделирования систем: экономических, производственных и т.д. И, в частности, образовательных систем. К ним относят: метод «сценариев», метод структуризации, метод «дерева целей», морфологический метод, деловые игры, метод мозгового штурма, метод «Делфи», метод синектики.

Метод сценариев предполагает создание технологий разработки сценариев, обеспечивающих более высокую вероятность выработки эффективного решения в тех ситуациях, когда это возможно, и более высокую вероятность сведения ожидаемых потерь к минимуму в тех ситуациях, когда потери неизбежны.

В настоящее время известны различные реализации метода сценариев, такие, как:

- получение согласованного мнения,
- повторяющаяся процедура независимых сценариев,
- использование матриц взаимодействия и др.

Метод получения согласованного мнения является, по существу, одной из реализаций метода Делфи, ориентированной на получение коллективного мнения различных групп экспертов относительно крупных событий в той или иной области в заданный период будущего.

К негативным моментам этого метода можно отнести недостаточное внимание, уделяемое взаимозависимости и взаимодействию различных факторов, влияющих на развитие событий, а также динамике развития ситуации.

Метод повторяющегося объединения независимых сценариев состоит в составлении независимых сценариев по каждому из аспектов, оказывающих существенное влияние на развитие ситуации, и повторяющемся итеративном процессе согласования сценариев развития различных аспектов ситуации.

Достоинством этого метода является более углубленный анализ взаимодействия различных аспектов развития ситуации.

К его недостаткам можно отнести недостаточную разработанность и методическую обеспеченность процедур согласования сценариев.

Метод матриц взаимовлияний, разработанный Гордоном и Хелмером, предполагает определение на основании экспертных оценок потенциального взаимовлияния событий рассматриваемой совокупности.

Оценки, связывающие все возможные комбинации событий по их силе, распределению во времени и т.д., позволяют уточнить первоначальные оценки вероятностей событий и их комбинаций. К недостаткам метода можно отнести трудоемкость получения большого количества оценок и корректной их обработки.

Метод структуризации целей предусматривает количественное и качественное описание, сроки достижения и анализ иерархически распределенных взаимосвязанных и взаимообусловленных целей СУ. Структурированные цели часто представляют графически в виде "дерева" целей, отображающего связи между ними и средства их достижения. Построение такого "дерева" осуществляется на основе дедуктивной логики с использованием эвристических процедур. Оно состоит из целей нескольких уровней: генеральная цель - главные цели (подцели 1-го уровня) - цели 2-го уровня - подцели 3-го уровня и так до требуемого уровня. Для достижения генеральной цели необходимо реализовать главные цели (по существу эти цели выступают по отношению вышестоящей цели как средства); для достижения каждой из главных целей требуется реализовать соответственно свои более конкретные цели 2-го уровня и т.д. Обычно для построения "дерева" целей используют процедуры классификации, декомпозиции и ранжирования. Каждая подцель должна характеризоваться коэффициентом относительной важности. Сумма этих коэффициентов для подцелей одной цели должна равняться единице. Каждый уровень целей (подцелей) следует формировать по определенному признаку декомпозиции процесса их достижения, а любую цель (подцель) желательно относить к организационно обособленному подразделению или исполнителю.

Дерево целей - это структурированная, построенная по иерархическому принципу совокупность целей социально-экономической системы, программы, плана, в которой выделены генеральная цель; подчиненные ей подцели первого, второго и последующего уровней. Термин «дерево» подразумевает использование иерархической структуры, полученной путем разделения обшей цели на подцели, а их, в свою очередь, на более детальные составляющие, которые можно называть подцелями нижележащих уровней или, начиная с некоторого уровня — функциями. Дерево целей представляет собой связный граф, вершины которого интерпретируются как цели, а ребра или дуги – как связи между целями. При этом в понятие целей на разных уровнях вкладывается различное содержание: от объективных народнохозяйственных потребностей и желаемых направлений развития на верхнем уровне дерева до решения конкретных практических задач и осуществления отдельных мероприятий на нижних уровнях. Основным требованием к дереву целей является отсутствие циклов. В остальном метод достаточно универсален. Дерево целей является главным инструментом увязки целей высшего уровня с конкретными средствами их достижения на низшем производственном уровне через ряд промежуточных звеньев. Алгоритм построения «дерева целей» следующий: 1. Определение генеральной (общей) цели; 2. Разделение общей цели на подцели (подцели 1-го уровня); 3. Разделение подцелей 1-го уровня на подцели 2-го уровня; 4. Разделение подцелей 2-го уровня на более детальные составляющие (подцели 3-го уровня); Существует четыре вида взаимосвязей между целями: 1. Взаимодополнение целей: первая цель достигается только в случае достижения второй и наоборот. 2. Индиферентность целей: первая цель достигается независимо от достижения второй. 3. Антогонизм целей: достигается либо первая, либо вторая цель. 4. Конкуренция целей: ограниченное количество ресурсов может быть направлено на достижение либо первой, либо второй цели.

Морфологический метод – метод прогнозирования, основанный на выявлении структуры объекта прогнозирования и оценке возможных значений ее элементов с последующим перебором и оценкой вариантов сочетаний этих значений.Основная идея метода состоит в уменьшении сложности проблемы через ее разделение на компоненты, причем эти компоненты должны быть относительно независимыми от общей проблемы. Морфологический метод был предложен в 1966 г. швейцарским астрофизике Цвики. Морфология - учение об упорядоченном мышлении представляет принципы и правила, следование которым повышает целенаправленность и рациональность процесса выработки решения. Морфология вскрывает многообразие возможных решений, которые могут возникнуть в ходе комбинации всех возможных альтернатив решения подпроблем. **Основная область применения метода - поиск инновативных решений, причем здесь идет сознательное обращение к уже существующим частичным решениям.** Морфология применяется прежде всего для развития материальных объектов (например, разработки новых продуктов).

Морфология превосходно подходит для комбинации уже существующих частичных решений в инновативное общее решение. Проблемой для пользователя является выбор параметров, поскольку это требует наличия аналитических способностей и способностей к абстрагированию.

Деловые игры (анализ ситуаций, ролевые, имитационные) позволяют решать задачи в условиях неопределенности, риска, конфликтных ситуаций. Методика их использования на практике хорошо разработана и не вызывает особых затруднений. В отличие от деловых игр ОДИ — это принципиально новый класс игр, применение которых требует специальной подготовки. К ОДИ относятся организационно-коммуникативные, организационно-мыслительные, организационно-деятельностные, проблемно-деловые, проблемно-ориентированные, деловые, апробационно-поисковые, инновационные игры. Как видно из перечня, ОДИ позволяют решать уникальные задачи, обосновывать принятие сложнейших управленческих решений.

К основным особенностям организационно-деятельностных игр относятся:

•моделирование деятельности различных специалистов по решению комплексных проблем управления социально-экономическими системами на основе реальной информации об их состоянии;

•использование коллективной деятельности в выработке решений;

•условность ролей в ОДИ, наличие общей цели у всего коллектива;

Математические модели, описывающие технологические, организационные и другие процессы, в игровой имитации подвергаются численному исследованию и на его основе принимаются количественные решения. Применение компьютерных технологий не является необходимым условием, однако их использование способствует успешной реализации процесса имитации, обеспечивая ряд преимуществ.

Фактор времени, присутствующий и учитываемый в деловой игре, накладывает определенные условия на процесс и результаты игры. Изменение масштаба времени дает возможность сокращать до минут и часов длительность процессов, измеряемых в сутках, годах. Наличие обратной связи в имитационной системе, благодаря многократному проигрыванию различных ситуаций, позволяет играющим, анализируя результаты, обучаться и в каждом последующем периоде принимать более эффективные решения.

Метод мозгового штурма (мозговая атака, мозговой штурм, англ. brainstorming) — оперативный метод решения проблемы на основе стимулирования творческой активности, при котором участникам обсуждения предлагают высказывать возможно большее количество вариантов решения, в том числе самых фантастических. Затем из общего числа высказанных идей отбирают наиболее удачные, которые могут быть использованы на практике.

Очень часто решение об использовании метода мозгового штурма принимается в ситуации, когда не удалось решить проблему обычным путем, когда кажется, что все возможные пути решения уже рассмотрены, и при обсуждении проблемы все уже просто «ходят по кругу».

В этой ситуации необходимо переформулировать проблему, например, в виде задачи-аналога или упростив ранее сформулированную задачу.

В настоящее время в современном менеджменте групповые методы принятия решений являются наиболее популярными и востребованными. Можно отметить несомненные их плюсы, к которым в первую очередь относятся:

- широкий охват специалистов, тех, для кого актуальна сфера, в которой принимаются решения;
- максимальная включенность и вовлеченность участников во время самого процесса выработки группового решения;
- синергетический эффект, активизирующий творческий потенциал.

Однако данная технология таит в себе и некоторые сложности, которых можно избежать, если правильно подойти к процессу. В ходе мозгового штурма особая ответственность возлагается на его ведущего. Собрать людей и провести с ними подобное совместное действие — процесс трудоемкий по затратам сил и сложный в управлении. Поэтому актуальными и зачастую решающими становятся такие навыки ведущего, как четкое понимание и чувство ситуации, каждого участника в отдельности и всех вместе.

В целом процессы принятия групповых решений подчинены основной психологически обусловленной модели, которая может быть представлена следующей достаточно простой последовательностью этапов ее применения.

Метод Дельфи (иногда дельфийский метод) был разработан в 1950—1960 годы в США для прогнозирования влияния будущих научных разработок на методы ведения войны (разработан корпорацией RAND, авторами считаются Olaf Helmer, Norman Dalkey, и Nicholas Rescher). Имя заимствовано от Дельфийского Оракула.

Является методом экспертного оценивания[1]. Особенности: заочность, многоуровневость, анонимность.

Суть этого метода в том, чтобы с помощью серии последовательных действий – опросов, интервью, мозговых штурмов – добиться максимального консенсуса при определении правильного решения. Анализ с помощью дельфийского метода проводится в несколько этапов, результаты обрабатываются статистическими методами.

Базовым принципом метода является то, что некоторое количество независимых экспертов (часто несвязанных и не знающих друг о друге) лучше оценивает и предсказывает результат, чем структурированная группа (коллектив) личностей. Позволяет избежать открытых столкновений между носителями противоположенных позиций т.к. исключает непосредственный контакт экспертов между собой и, следовательно, групповое влияние, возникающее при совместной работе и состоящее в приспособлении к мнению большинства, даёт возможность проводить опрос экстерриториально, не собирая экспертов в одном месте (например, посредством электронной почты)

Субъекты:

- группы исследователей, каждый из которых отвечает индивидуально в письменной форме.
- организационная группа — сводит мнения экспертов воедино.

МЕТОД СИНЕКТИКИ – вариант целенаправленного использования для поиска новых идей методов мозговой атаки и аналогии. Высокая эффективностьнайденных решений достигается за счет последовательного отхода, отчуждения от решаемой проблемы, получения ее новых образов в процессе формулированиясимволической аналогии. На первом этапе использования данного метода (цель которого – исключение тривиальных идей, группой синекторов) проводится спонтанная мозговая атака, завершающаяся формулировкой проблемы «как она понята», после чего начинается собственно решение задачи. Далее следуют процедуры систематического отчуждения от проблемы путем последовательного проведения аналогий: прямой аналогии, личной аналогии или эмпатии, фантастической аналогии, символической аналогии. Возврат и формулировка окончательного технического решения осуществляется после проведения прямой аналогии с техническим решением, сформулированным ранее на основе одной или нескольких символических аналогий. Указанная структура процедур синектики с учётом психологических сложностей, возникающих при организации и проведении мозговой атаки, обусловливает труднодоступность этого метода. Участник сеанса синектики должен обладать развитым метафорическим мышлением, не только хорошо разбираться в технических проблемах, но и обладать художественными способностями. В России метод синектики пока не получил широкого распространения.

Необходимо отметить, что в отличие от мозгового штурма при использовании синектики требуется специальная и длительная подготовка

Системная динамика как методология и инструмент исследования сложных процессов

Системная динамика как методология и инструмент исследования сложных процессов Системная динамика — это сумма принципов и методов анализа динамических управляемых систем, которые предполагают наличие обратной связи. Такие системы используют для решения различного рода задач. Примером могут быть производственные, организационные, социально-экономические задачи.

Использование системной динамики стало возможным благодаря реализации трех достижений, базисом для которых послужили разработки в области вооружений:

1. развитие направления проектирования и анализа систем управления с обратной связью;
2. развитие методов компьютерного моделирования и вычислительной техники;
3. развитие в моделировании процесса принятия решений.

В основе методологии системной динамики лежит гипотеза о том, что на историю развития во времени в большей степени оказывает влияние его информационно-логическая структура. Самым важным в такой структуре представляется определение, помимо физических и технологических составляющих производственных процессов, политики и традиций, которые прямо или косвенно выявляют процесс принятия решений на предприятии. Представленная структура включает в себя источники усиления временных задержек и информационных обратных связей, тождественны тем, которые имеют место быть в комплексных инженерных системах.

Не менее важным также в системной динамике представляется предположение о том, что более эффективна организация в определениях, которые лежат в ее основе потоков, по сравнению с определениями отдельных функций. Таким образом, в любой организации могут быть определены потоки людей, денег, материалов, заявок и оборудования, интегрированные потоки информации. Ориентация на потоковую структуру вынуждает аналитика расширять внутриорганизационные границы.

Для того, чтобы рассмотреть комплексные системы с обратными связями, необходимо использовать четыре базисных определения:

1. переменная — это объем конкретного продукта, который имеет специфику меняться в течение времени. Среди решений, которые способна выражать функция, могут быть «количество дополнительных ресурсов». Также переменная отображает итог ранее принятого решения. Например, «затраты». «Экзогенной» переменная может быть в том случае, если на переменную не влияют изменения других переменных системы. Это означает, что такая переменная является внешней для системы. При обратных процессах, переменная будет называться «эндогенной»;
2. связь — выявляет причинно-следственные отношения между двумя переменными. Если проводить графическую аналогию, то связь представляется в качестве стрелки, в начале которой находится исходная переменная, на конце — зависимая;
3. цикл с обратной связью — это система двух переменных и двух связей. Данная система предполагает наличие прямой и обратной связи. Первая образуется в результате влияние начальной переменной на значение зависимой. Вторая имеет место в результате влияния зависимой переменной на значение исходной, соответственно. Цикл с обратной связью предусматривает наличие временных задержек. Начальной является задержка между решением и следствием, имеющим место в результате этого решения. Далее, образуется задержка между следствием и тем моментом времени, который предполагает наличие результата влияния информации о данном следствии на новое решение;
4. система с обратными связями представляет собой систему «взаимозависящих» циклов с обратными связями. Это означает, что свойства переменной в одном цикле влияют на свойства переменной другого цикла. Комплексные задачи управления, которые выражены в таком виде, могут включать в себя многочисленные циклы. Такие комплексные системы и являются базисным предметом исследования системной динамики. Если степень сложности такой системы увеличивается, то, соответственно, возрастает сложность получения формального аналитического решения. В этом случае, для проведения анализа подобных систем используется имитационное моделирование.

Для того, чтобы обеспечить организацию имитационных моделей динамических систем, необходимо применять четыре типа:

1. время — это исходная переменная для имитационной модели динамической системы. Значение такой переменной образуется посредством системного таймера и изменяется дискретно. Это означает, что начиная с конкретного исходного значения, время за каждый такт увеличивается на заранее определенную величину, которая представлена в качестве единицы модельного времени. Количество тактов и единица времени задаются заранее;
2. фонд представляет собой переменную, которая эквивалентна объему определенного «продукта», образована в качестве резерва в течение существования модели с начального по текущий момент. Такой резерв допускает добавление или вычитание единиц объема продукта. Соответственно, значение резерва в настоящий момент определяется в качестве суммы его значения в предыдущий момент и величины, которая является эквивалентной разности величин « поступающего» и «извлекающегося» продукта за единицу времени, определенной непосредственно для конкретной модели. В качестве примеров можно назвать фонды материальных и людских ресурсов, объемы накопленной информации, оценка субъективных вероятностей наступления определенных событий к конкретному отрезку времени. Такие переменные могут также выражать степень влияния одних субъектов на другие. Фондами специального вида можно также считать средние величины всех видов;
3. поток — это такая переменная, которая является эквивалентной объему продукта, поступающего или исходящего из определенного резерва в единицу модельного времени. Значения такой переменной меняют внешние условия. Поток может быть представлен в качестве функции от значений других потоков и резервов.

Резервы определяют статическое состояние системы. Динамику такой системы характеризуют потоки. Допустим, что на определенном отрезке времени все процессы прекратят свое развитие, резервы сохранят те значения, которые имели место на момент остановки, при этом, потоки будут равны нулю. Следует также отметить, что о размере потока можно говорить за конкретный отрезок времени.

что о размере потока можно говорить за конкретный отрезок времени.

Для организации имитационных моделей динамических систем, кроме резервов и потоков, применяют так называемые конверторы, которые представлены в качестве вспомогательных переменных. Величина таких переменных совпадает с константами или значениями математических функций от других переменных. Это означает, что существует возможность конвертирования одних числовых значений в другие.

Очевидные достоинства совместного использования когнитивных и системно-динамических моделей при исследовании систем порождают все новые попытки расширения функциональности исследований, корректного преодоления проблем масштабируемости объекта в заданной предметной области и, наконец, постановки и решения задач описания и моделирования поведения в рамках все более сложных архитектур систем моделирования. Из всего многообразия примеров на данном этапе можно отметить иерархические системы когнитивных моделей , когнитивные архитектуры и интегированные системы моделирования Построение иерархических систем из когнитивных моделей позволяет, оставаясь в рамках единственной выбранной парадигмы моделирования, переходить на последующих (нижних) уровнях иерархии к более детальному описанию сущностей и связей предметной области. Например, при необходимости, одна из вершин когнитивной карты верхнего уровня может быть представлена в свою очередь в виде когнитивной карты на нижнем уровне, и, таким образом, формируется иерархическая система когнитивных моделей [7,8]. В таком «поуровневом» продвижении при изучении слабоструктурированных проблем систем совокупность иерархических когнитивный моделей (когнитивных карт) позволяет получать достаточно строгие формализации первичного (качественного) описания процессов и систем.

Следующий шаг в исследовании сложных процессов взаимодействия предлагается выполнять на основе интегрированных систем моделирования . Принципиальное их отличие от рассмотренных выше заключается в использовании различных парадигм моделирования для исследования соответствующих свойств процессов.

Следуя в русле выше указанных решений отметим, что для подобных систем задача, таким образом, сводится к формированию минимально необходимой совокупности моделей m, каждая из которых является одной из проекций процессов в области решений, а все вместе они образуют систему моделей SM, обеспечивающую с должной степенью качества Q (полноты, правильности и адекватности) целевое исследование указанных процессов .

$S_M =< Z, M, R, Q >, M \neq \emptyset, M := \{m|F(m)\}, |\{m_i\}| = min$, где Z – множество (структура) целей, M – множество, состоящее из моделей m таких, что m является одной из проекций F(m) свойств P процессов, R – множество механизмов и отношений, обеспечивающих интеграцию моделей mi в систему SM, обладающую, в свою очередь, соответствующими интегративными свойствами, Q – множество требований к качеству исследования процессов. Применительно к сложным процессам взаимодействия совокупность моделей должна отражать различные абстракции описания структуры, разнообразные аспекты ее поведения, этапы (итерации) ее эволюции в процессе функционирования и развития. Каждая из моделей имеет уникальные свойства, отсутствующие у других, и поэтому в различной степени соответствует реальным процессам. Используемая модель, интерпретирующая исследуемое свойство процессов, в свою очередь, определяет и то, как будет осмысливаться проблема, и какие решения будут приниматься. Необходимо рассматривать архитектуру совокупности моделей в контексте необходимости для решения задачи на конкретном этапе исследования.

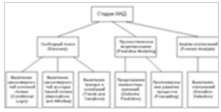
Современные сложные процессы взаимодействия инициируют формирование соответствующего уровню решаемых задач методологического и инструментального обеспечения системного моделирования. Осмысление и освоение новейших архитектур систем моделирования и адаптация их в русле актуальных проблем исследования кризисных систем и процессов – так сегодня формулируется одна из важнейших задач развития наук.

Методы интеллектуального анализа данных

Интеллектуальный анализ данных

ИАД (Data Mining) - это процесс поддержки принятия решений, основанный на поиске в данных скрытых закономерностей (шаблонов информации). При этом накопленные сведения автоматически обобщаются до информации, которая может быть охарактеризована как знания.

В общем случае процесс ИАД состоит из трёх стадий:



1) выявление закономерностей (свободный поиск);

2) использование выявленных закономерностей для предсказания неизвестных значений (прогностическое моделирование);

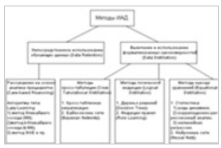
3) анализ исключений, предназначенный для выявления и толкования аномалий в найденных закономерностях.

Иногда в явном виде выделяют промежуточную стадию проверки достоверности найденных закономерностей между их нахождением и использованием (стадия валидации).

Все методы ИАД подразделяются на две большие группы по принципу работы с исходными обучающими данными .

1. В первом случае исходные данные могут храниться в явном детализированном виде и непосредственно использоваться для прогностического моделирования и/или анализа исключений; это так называемые методы рассуждений на основе анализа прецедентов. Главной проблемой этой группы методов является затрудненность их использования на больших объемах данных, хотя именно при анализе больших хранилищ данных методы ИАД приносят наибольшую пользу.
2. Во втором случае информация вначале извлекается из первичных данных и преобразуется в некоторые формальные конструкции (их вид зависит от конкретного метода). Согласно предыдущей классификации, этот этап выполняется на стадии свободного поиска, которая у методов первой группы в принципе отсутствует. Таким образом, для прогностического моделирования и анализа исключений используются результаты этой стадии, которые гораздо более компактны, чем сами массивы исходных данных. При этом полученные конструкции могут быть либо "прозрачными" (интерпретируемыми), либо "черными ящиками" (нетрактуемыми).

К интеллектуальным средствам DM&KDD относятся нейронные сети, деревья решений, индуктивные выводы, методы рассуждения по аналогии, нечеткие логические выводы, генетические алгоритмы, алгоритмы определения ассоциаций и последовательностей, анализ с избирательным действием, логическая регрессия, эволюционное программирование, визуализация данных. Иногда перечисленные методы применяются в различных комбинациях.



Нейронные сети относятся к классу нелинейных адаптивных систем с архитектурой, условно имитирующей нервную ткань, состоящую из нейронов. Математическая модель нейрона представляет собой некий универсальный нелинейный элемент, допускающий возможность изменения и настройки его характеристик. Нейронные сети широко применяются для решения задач классификации. Построенную сеть сначала нужно «обучить» на примерах, для которых известны значения исходных данных и результаты. Процесс «обучения» сети заключается в подборе весов межнейронных связей и модификации внутренних параметров активационной функции нейронов. «Обученная» сеть способна классифицировать новые объекты (или решать другие примеры), однако правила классификации остаются не известными пользователю.

Деревья решений — метод структурирования задачи в виде древовидного графа, вершины которого соответствуют продукционным правилам, позволяющим классифицировать данные или осуществлять анализ последствий решений. Этот метод дает наглядное представление о системе классифицирующих правил, если их не очень много. Простые задачи решаются с помощью этого метода гораздо быстрее, чем с использованием нейронных сетей. Для сложных проблем и для некоторых типов данных деревья решений могут оказаться неприемлемыми. Кроме того, для этого метода характерна проблема значимости. Одним из последствий иерархической кластеризации данных является то, что для многих частных случаев отсутствует достаточное число обучающих примеров, в связи с чем классификацию нельзя считать надежной. Методы деревьев решений реализованы во многих программных средствах, а именно: С5.0 (RuleQuest, Австралия), Clementine(Integral Solutions, Великобритания), SIPINA (University of Lyon, Франция), IDIS (Information Discovery, США).

Индуктивные выводы позволяют получить обобщения фактов, хранящихся в БД. В процессе индуктивного обучения может участвовать специалист, поставляющий гипотезы. Такой способ называют обучением с учителем. Поиск правил обобщения может осуществляться без учителя путем автоматической генерации гипотез. В современных программных средствах, как правило, сочетаются оба способа, а для проверки гипотез используются статистические методы. Примером системы с применением индуктивных выводов являетсяXpertRule Miner, разработанная фирмой Attar Software Ltd. (Великобритания).

Рассуждения на основе аналогичных случаев (Case-based reasoning — CBR) основаны на поиске в БД ситуаций, описания которых сходны по ряду признаков с заданной ситуацией. Принцип аналогии позволяет предполагать, что результаты похожих ситуаций также будут близки между собой. Недостаток этого подхода заключается в том, что здесь не создается каких-либо моделей или правил, обобщающих предыдущий опыт. Кроме того, надежность выводимых результатов зависит от полноты описания ситуаций, как и в процессах индуктивного вывода. Примерами систем, использующих CBR, являются: KATE Tools (Acknosoft, Франция),Pattern Recognition Workbench (Unica, США).

Нечеткая логика применяется для обработки данных с размытыми значениями истинности, которые могут быть представлены разнообразными лингвистическими переменными. Нечеткое представление знаний широко применяется в системах с логическими выводами (дедуктивными, индуктивными, абдуктивными) для решения задач классификации и прогнозирования, например в системе XpertRule Miner (Attar Software Ltd., Великобритания), а также в AIS и NeuFuz и др. .

Генетические алгоритмы входят в инструментарий DM&KDD как мощное средство решения комбинаторных и оптимизационных задач. Они часто применяются в сочетании с нейронными сетями . В задачах извлечения знаний применение генетических алгоритмов сопряжено со сложностью оценки статистической значимости полученных решений и с трудностями построения критериев отбора удачных решений. Представителем пакетов из этой категории является GeneHunter фирмы Ward Systems Group. Генетические алгоритмы используются также в пакете XpertRule Miner и др.

Логическая (логистическая) регрессия используется для предсказания вероятности появления того или иного значения

Логическая (логистическая) регрессия используется для предсказания вероятности появления того или иного значения дискретной целевой переменной. Дискретная зависимая (целевая) переменная не может быть смоделирована методами обычной многофакторной линейной регрессии. Тем не менее вероятность результата может быть представлена как функция входных переменных, что позволяет получить количественные оценки влияния этих параметров на зависимую переменную. Полученные вероятности могут использоваться и для оценки шансов. Логическая регрессия — это, с одной стороны, инструмент классификации, который используется для предсказания значений категориальных переменных, с другой стороны — регрессионный инструмент, позволяющий оценить степень влияния входных факторов на результат.

Эволюционное программирование — самая новая и наиболее перспективная ветвь DM&KDD. Суть метода заключается в том, что гипотезы о форме зависимости целевой переменной от других переменных формулируются компьютерной системой в виде программ на определенном внутреннем языке программирования. Если это универсальный язык, то теоретически он способен выразить зависимости произвольной формы. Процесс построения таких программ организован как эволюция в мире программ. Когда система находит программу, достаточно точно выражающую искомую зависимость, она начинает вносить в нее небольшие модификации и отбирает среди построенных дочерних программ те, которые являются наиболее точными. Затем найденные зависимости переводятся с внутреннего языка системы на понятный пользователю язык (математические формулы, таблицы и т.п.). При этом активно используются средства визуализации. Методы эволюционного программирования реализованы в системе PolyAnalyst (Unica, США).

В современных средствах DM&KDD часто используются комбинированные методы. Например, продукт компании SAS Enterprise Miner 3.0 содержит модуль автоматического построения результирующей гибридной модели, определенной на множестве моделей, которые предварительно были созданы различными методами: деревьев решений, нейронных сетей, обобщенной многофакторной регрессии. Программная система Darwin, разработанная компанией Thinking Machines, позволяет не только строить модели на основе нейронных сетей или деревьев решений, но также использовать визуализацию и системы рассуждений по аналогии. Кроме того, этот продукт включает своеобразный генетический алгоритм для оптимизации моделей. Активно работает в области интеллектуального анализа данных компания IBM. Многие из полученных в ее лабораториях результатов нашли применение в выпускаемых инструментальных пакетах, которые можно отнести к четырем из пяти стандартных типов приложений «глубокой переработки» информации: классификации, кластеризации, выявлению последовательностей и ассоциаций.

Вложенные сети Петри и моделирование распределенных систем

Теоретические основы сетей Петри: принципы построения, алгоритмы поведения.

Сети Петри были разработаны и используются для моделирования систем, которые содержат взаимодействующие параллельные компоненты, например аппаратное и программное обеспечение ЭВМ, гибкие производственные системы, а также социальные и биологические системы. Впервые сети Петри предложил Карл Адам Петри в своей докторской диссертации "Связь автоматов" в 1962 году.

2. Сети Петри для моделирования систем: способы реализации.

2.1 События и условия.

Представление системы сетью Петри **базируется на двух понятиях: событиях и условиях**. Под событием понимается действие, имеющее место в системе. Появление события определяет состояние системы, которое может быть описано множеством условий. Условие - это предикат или логическое описание состояния системы. При этом условие может принимать либо значение "истина", либо значение "ложь".

Для того, чтобы событие произошло, необходимо выполнение соответствующих условий, которые называются предусловиями события. Возникновение события может привести к появлению постусловий.

В сети Петри условия моделируются позициями, события - переходами. При этом входы перехода являются предусловиями соответствующего события, выходы - постусловиями. Возникновение события равносильно запуску соответствующего перехода. Выполнение условия представляется фишкой (маркером) в позиции, соответствующей этому условию. Запуск перехода удаляет разрешающие маркеры, представляющие выполнение предусловий и образует новые маркеры, которые представляют выполнение постусловий.

Построение моделей систем в виде сетей Петри связано со следующими обстоятельствами:

1. Моделируемые процессы (явления) совершаются в системе, описываемой множеством событий и условий, которые эти события определяют, а также причинно - следственными отношениями, устанавливаемыми на множестве "события - условия".

2. Определяются события - действия, последовательность наступления которых управляется состоянием системы. Состояния системы задаются множеством условий. Условия формулируются в виде предикатов. Количественные условия характеризуются емкостью. Емкость условий выражается числами натурального ряда.

3. Условия (предикаты) могут быть выполнены или не выполнены. Только выполнение условий обеспечивает возможность наступления событий (предусловия).

4. После наступления события обеспечивается выполнение других условий, находящихся с предусловиями в причинно - следственной связи (постусловия). После того, как событие имело место, реализуются постусловия, которые в свою очередь являются предусловиями следующего события и т.д.

В качестве примера рассмотрим задачу моделирования работы автомата по производству какого либо изделия. Автомат находится в состоянии ожидания до появления заготовки, которую он обрабатывает и посылает в накопитель, т.е. событиями для такой системы являются:

1. заготовка поступила;

2. автомат начинает обработку;

3. автомат заканчивает обработку;

4. деталь посылается в накопитель.

Условиями для системы являются:

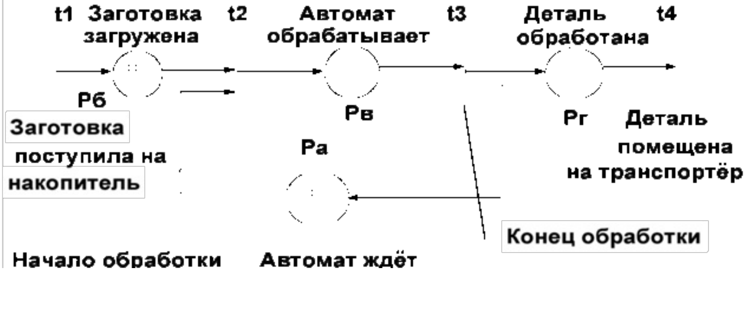
1. автомат ждет;

2. заготовка загружена;

3. автомат выполняет обработку;

4. деталь обработана.

В сети Петри условия моделируются позициями, а события - переходами. При этом входы перехода являются предусловиями соответствующего события, а выходы - постусловиями. Выполнение условия представляется фишкой (маркером) в позиции, соответствующей этому условию. Запуск перехода удаляет разрешающие фишки, представляющие выполнение предусловий и образуют новые маркеры, которые представляют выполнение постусловий.



Аналогичный пример можно привести для вычислительной системы, которая обрабатывает задания, поступающие с устройства ввода и выводит результаты на устройство вывода. Задание поступает на устройство ввода. Когда процессор свободен и в устройстве ввода есть задание, процессор начинает обработку задания. Когда задание выполнено, оно посылается на устройство вывода; процессор либо продолжает обрабатывать другое задание, если оно есть, либо ждет прихода задания.

Сеть Петри рассматриваемого автомата имеет вид (рис.8)

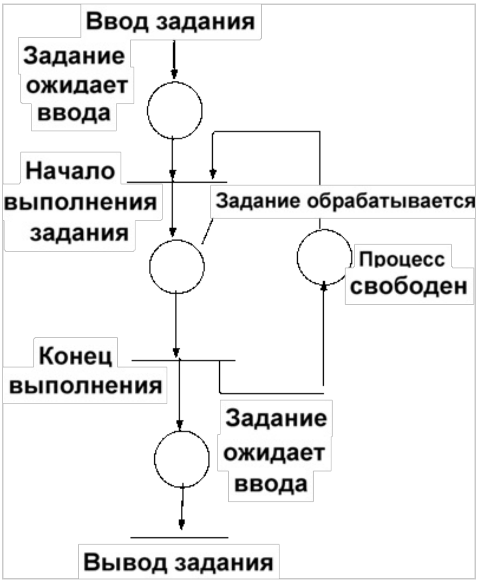


Рис. 9

2.2 Одновременность и конфликт.

Одной из особенностей сетей Петри и их моделей является параллелизм или одновременность. В модели сети Петри два разрешенных взаимодействующих события могут происходить независимо друг от друга, но при необходимости их легко синхронизировать. Т.о. сети Петри представляются идеальными для моделирования систем с распределенным управлением, в которых несколько процессов выполняются одновременно.

Другая важная особенность сетей Петри - их асинхронная природа. В сети Петри отсутствует измерение времени или течение времени. Структура сетей такова, что содержит в себе информацию для определения возможных последовательностей событий. В этих моделях нет никакой информации, связанной с количеством времени, необходимым для выполнения событий.

Выполнение сети Петри рассматривается как последовательность дискретных событий. Обычно запуск перехода рассматривается как мгновенное событие, занимающее нулевое время и одновременное возникновение двух событий невозможно. Моделируемое таким образом событие называется примитивным, примитивные события мгновенны и неодновременны.

Непримитивными называются события, длительность которых отлична от нуля. Однако это не приводит к возникновению проблем при моделировании систем. Непримитивное событие может быть представлено в виде двух примитивных: "начало непримитивного события", "конец непримитивного события" и условия когда «непримитивное» событие происходит".

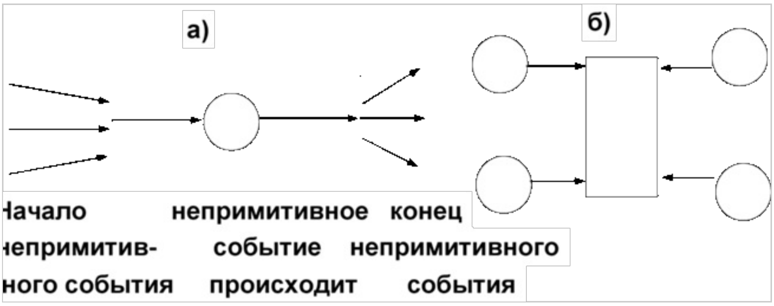


Рис. 10

В сетях Петри предложено представлять непримитивные события в виде прямоугольника (рис.10), а примитивные события планками. Прямоугольник может иметь существенное значение при моделировании сложных систем на нескольких иерархических уровнях, т.к. он позволяет выделить в отдельный элемент сети целые подсети. Наличие прямоугольника в некотором смысле подобно понятию подпрограммы в блочном программировании и может оказаться в некоторых приложениях весьма полезным.

Если в какой либо момент времени разрешено более одного перехода, то любой из них может стать “следующим”. Выбор запускаемого перехода осуществляется недетерминированным образом, то есть случайно и зависит от воли моделирующего систему. Недетерминорованность и неодновременность запусков переходов в моделировании паралельной системы показывается двумя способами. В одной ситуации два разрешённых перехода t_j и t_k не влияют друг на друга. В число возможных последовательностей событий входит последовательность, в которой первым срабатывает один переход и последовательность в которой первым срабатывает другой переход. Эти два перехода могут быть запущены в любом порядке, это называется недетерминированностью и неодновременностью, переход t_k может быть запущен в любом порядке, но обязательно при помощи маркеров в обеих позициях. Это называется одновременностью. Другая ситуация, в которой одновременное выполнение затруднено и которая характеризуется невозможностью одновременного запуска. Здесь переходы t_j и t_k находятся в конфликте, так как запуск одного из них удаляет маркёр из p_i и тем самым завершает другой переход. Эта ситуация называется конфликтом и в моделируемых системах отображает борьбу за общие ресурсы.

рис. 11, рис. 12

Существуют определённые области, в которых сети Петри являются идеальным инструментом для моделирования: это области, в которых события происходят синхронно и независимо. Одной из таких областей является использование сетей Петри для моделирования аппаратного и програмного обеспечения ЭВМ и других систем.

Моделирование распределенных автоматизированных систем и информационных сетей

Рассматривая АСУ с точки зрения технологии обработки информации и принятия решений, можно выделить функциональную схему управления, состоящую из обеспечивающих подсистем, находящихся во взаимосвязи, как между собой, так и с внешней средой. При проектировании АСУ различных уровней, исходя из общности решаемых задач, принято выделять информационное, математическое, программное, техническое и организационное обеспечение.

Техническое обеспечение — одна из основных составных частей АСУ, той материально-технической базы, с помощью которой реализуются экономико-математические методы управления. Комплекс технических средств включает в себя разнообразные средства вычислительной техники, сбора и передачи информации, обеспечивающие своевременную и качественную переработку управляющей информации, причем территориальная удаленность объектов управления в АСУ требует применения средств передачи информации, основная задача которых — обмен информацией между местом ее возникновения и информационно-вычислительным центром с необходимой скоростью и достоверностью.

Наиболее перспективным направлением в области создания технического обеспечения АСУ является построение информационно-вычислительных сетей, цифровых сетей интегрального обслуживания, позволяющих наиболее эффективно использовать ресурсы обработки и хранения информации.

Структурная схема такой сети показана на рис. 1. где выделены уровни базовой (магистральной) сети, реализующей обмен информацией между центрами коллективного пользования, и терминальной (абонентской) сетью, обеспечивающей обмен информацией между пользователями и ЭВМ.

Основными структурными элементами сети являются: узлы (центры) коммутации потоков, осуществляющие все основные операции по управлению сетью, включая коммутацию и маршрутизацию потоков сообщений (пакетов); концентраторы, обеспечивающие сопряжение входных низкоскоростных каналов связи с выходным высокоскоростным каналом; терминалы, выполняющие функции организации доступа пользователя к ресурсам сети и функции по локальной обработке информации; каналы связи, реализующие обмен информацией между узлами сети (узлами коммутации, концентраторами, терминалами) с требуемым качеством.

Рис. 1

Процесс функционирования информационно-вычислительной сети может быть представлен в виде *Q-**схемы,*** **имеющей два параллельных канала обслуживания, а также связи, управляющей блокировкой.**

В этом случае можно записать: эндогенные переменные: T_0—среднее время обслуживания сообщений; $P_{от}$— вероятность отказа в обслуживании; экзогенные переменные: λ_Σ— интенсивность входного потока сообщений; *h* **— производительность абонентской ЭВМ; *H* — суммарная производительность главных ЭВМ сети; *B* — пропускная способность селекторных каналов ЭВМ; *C* — пропускная способность магистрального канала связи.**

Моделирование систем на основе анализа размерностей и теории подобия

Моделирование систем на основе анализа размерностей и теории подобия

Анализ размерности (англ. *Dimensional analysis* — *«размерный анализ»* или *«пространственное изучение»*; чаще говорят *«соображения размерности»* или *«метрические соображения»*) — инструмент, используемый в физике, химии, технике и нескольких направлениях экономики для построения обоснованных гипотез о взаимосвязи различных параметров сложной системы. Неоднократно применялся физиками на интуитивном уровне не позже XIX века.

Суть метода в простейшем случае заключается в том, что для поиска выражения одного из параметров исследуемой системы через другие из последних составляется формула (их произведение в каких-то степенях), имеющая нужную размерность; часто именно она и оказывается искомым соотношением (с точностью до безразмерного множителя).

Простейший пример: если обозначить размерности физической величины буквами *M*, *L*, *T*, и поставить им в соответствие *массу*, *расстояние*, *время*, то такая физическая величина, как *скорость*, может быть представлена как *«расстояние / время»*, то есть как (L/T), а *сила* может быть представлена как *«масса × ускорение»* или *«масса × расстояние/время²»* или (ML/T^2).

С помощью таких же соотношений можно выразить мощность, импульс и другие величины, в том числе весьма необычные, такие, как «вязкость» или «скорость переноса мощности»[1][2].

Выбор той или иной системы базовых размерностей не сводится к математике, а определяется физикой задачи. После выбора системы размерностей необходимо определить величины, характерные для системы (характерные величины). Например, размеры шара могут быть охарактеризованы его радиусом, а размеры кругового цилиндра — двумя величинами (естествен выбор радиуса цилиндра и его длины, но в некоторых задачах может быть удобна пара диаметр-объем или иной набор величин). Характерность величины связана не только с физическими свойствами системы, но и с интересующими нас вопросами. Например, для определения площади земельного участка важно знать какие-либо величины, характеризующие размер, а отражающие свойства не релевантны этой задаче. Однако если вопрос состоит в определении температуры у поверхности, то альбедо земли, наряду со многими другими величинами, является существенным параметром, в то время как размер участка не важен.

Из выбранных характерных величин составляются все независимые комбинации, дающие размерность интересующей нас величины. В простых случаях возможна лишь одна такая комбинация (например, если известен радиус шара и его масса , а интересует плотность материала , то существует лишь одна возможная комбинация исходных величин, совпадающая с искомой по размерности:). В более сложных задачах комбинаций может быть несколько. Иногда требуется найти не скалярную величину, а функцию (например, распределение скорости жидкости в трубе). В таких случаях наряду с анализом размерностей необходимо учитывать дополнительные физические соображения

Для того, чтобы исследование конструкций проводить на основе физического моделирования, необходимо знать законы этого моделирования, т.е. знать, как перейти от натурной конструкции к модельной и обратно. Эти законы устанавливаются с помощью теорий «Анализа уравнений» и «Анализа размерностей». При установлении законов моделирования необходимо различать две разновидности моделирования. К первой разновидности можно отнести такие конструкции, работа которых изучена теоретически и, следовательно, описывается известными уравнениями (например, дифференциальными уравнениями в частных производных). Для таких конструкций (т.е. натуры и модели) подобие можно установить, исходя из «Анализа уравнений». Ко второй разновидности моделирования можно отнести такие конструкции, работа которых теоретически изучена слабо или полностью не изучена и, следовательно, не может быть представлена в виде определенных уравнений. Для таких конструкций подобие можно установить, исходя из «Анализа размерностей» на основании p-теоремы размерностей. Однако следует иметь в виду, что в некоторых случаях «Анализ размерностей» может привести к неверным заключениям, а именно:

можно ошибиться, не добрав величин, которые характеризуют рассматриваемое явление;

в уравнениях связи встречаются иногда размерные постоянные величины, которые трудно обнаружить при подборе величин для анализа размерностей;

величины нулевой размерности выпадают из контроля анализа размерностей;

в анализ размерностей могут быть ошибочно включены величины, не относящиеся к рассматриваемому явлению;

анализ размерностей не может провести разделения величин одинаковой размерности, но имеющих различный физический смысл в уравнениях связи.

Анализ размерностей не учитывает условия однозначности явления, и поэтому не вводит моновалентов (определяющих критериев подобия) в критериальные уравнения, т.е. в методе «Анализа размерностей» отсутствуют прямые способы нахождения определяющих параметров. **По существу этот метод применяется тогда, когда параметры задачи уже определены. Он дает слишком мало или вообще ничего не дает для исследования и проверки тех физических данных, которые используются для нахождения параметров, за исключением чисто интуитивного выбора их из системы физических характеристик. Анализ размерностей бессилен проверить соблюдение двух основных правил теории подобия.**

1. Включать в рассмотрение все уравнения связи данного явления.

2. Не вводить никаких других уравнений, не относящихся к рассматриваемому явлению.

Из анализа размерностей не ясны способы определения безразмерных комплексов, наиболее важных для данной задачи, и нет никакой возможности установить, какие из них обеспечат лучшие соотношения для частных задач. Анализ размерностей не указывает условий, при которых можно пренебречь одним или несколькими комплексами, что является существенным для установления правил приближенного подобия и соотношения для сложных систем. Вместе с этим, анализ размерностей является простым и достаточно эффективным средством нахождения зависимостей в случаях, когда общая картина явления ясна и выяснена природа всех составных элементов системы. Например, в случаях с подобными уравнениями. Поскольку доказывать подобие в таких случаях не нужно (оно дано изначально), то достаточно просто найти безразмерные комплексы. Анализ размерностей - наилучший выбор в подобных случаях. Простой и эффективный, он позволяет достигать результата в наименьшее число шагов.

ПОДОБИЯ ТЕОРИЯ - учение об условиях подобия физ. явлений. П. т. основана на учении о размерностях физ. величин (см.Размерностей анализ)и служит основой моделирования. П. т. устанавливает критерии подобия разл. физ. явлений, позволяющие с их помощью изучать свойства самих явлений. Явные и неявные функциональные связи между критериями подобия, к-рые получают с помощью П. т. (т. н. критериальные зависимости) способствуют пониманию сложных фпз. процессов и помогают интерпретировать результаты как эксперим. исследований, так и числ. расчётов, объём к-рых прогрессивно возрастает по мере развития числ. методов и совершенствования ЭВМ. П. т. позволяет формулировать фнз. закономерности и извлекать идеи из огромной массы расчётных или эксперпм. результатов.

Физ. процесс (явление) может определяться полем характеризующих его физ. величин т. е. распределением этих величин в пространстве с координатами x, x, x и во времени t:

этих величин в пространстве с координатами x_1, x_2, x_3 и во времени t:

В безразмерной форме поле описывается зависимостью

где безразмерная зависимая переменная может представлять собой либо отношение к нек-рому характерному её значениюлибо безразмерную комбинацию, в к-рую обязательно входит величина То же относится к безразмерным величинам

Переход к безразмерным переменным позволяет устанавливать подобие полей физ. величины. Физ. явления, процессы или системы подобны, если в сходственные моменты времени в сходственных точках пространства значения переменных величин, характеризующих состояние одной системы, пропорц. соответствующим величинам другой системы. Физ. подобие является обобщением элементарного и наглядного понятия геом. подобия, при к-ром существует пропорциональность (подобие) сходственных геом. элементов подобных фигур или тел. При фпз. подобии поля соответствующих (одноимённых) параметров двух систем подобны в пространстве и во времени. Напр., при кинематич. подобии существует подобие полей скорости для двух рассматриваемых движений; при динамич. подобии реализуется подобие систем действующих сил или силовых полей разл. фпз. природы (сил тяжести, сил давления, сил вязкости и т. п.); механич. подобие (подобие двух потоков жидкости или газа, подобие двух упругих систем и т. п.) предполагает наличие геом., кинематич. и динампч. подобий; при подобии тепловых процессов подобны соответствующие поля темп-р и тепловых потоков, при электродинамич. подобии - поля токов, нагрузок, мощностей, эл--магн. сил. Все перечисленные виды подобия - частные случаи физ. подобия.

Два физ. процесса или явления подобны, если по заданным характеристикам одного можно получить характеристики другого простым пересчётом, к-рый аналогичен переходу от одной системы единиц измерения к другой. Для осуществления пересчёта необходимы коэф. пропорциональности (коэф. подобия) - "переходные масштабы". Размерные физ. параметры, входящие в критерии подобия, могут принимать для подобных систем сильно различающиеся значения, одинаковыми должны быть лишь безразмерные критерии подобия. Это свойство подобных систем и составляет основу моделирования.

С развитием исследований сложных физ. и физ--хим. процессов, включающих механич., тепловые, хим. и иные явления, развиваются и методы П. т. для этих процессов; напр., устанавливаются условия подобия процессов трения и износа узлов и деталей машин, кинетики физ--хим. превращений, подобия и моделирования планетных атмосфер и др.

Если в рассматриваемых физ. явлениях или системах существует равенство не всех, а лишь нек-рых независимых критериев подобия, то говорят о неполном, или частичном, подобии. Такой случай наиб. часто встречается на практике. При этом важно, чтобы влияние критериев, равенство к-рых не соблюдается, было незначительно или малосущественно на протекание рассматриваемых физ. процессов.

Практич. применения П. т. весьма обширны. Она даёт возможность предварительного качественно-теоретич. анализа и выбора системы определяющих параметров сложных физ. явлений. П. т. - основа для правильной постановки экспериментов и обработки их результатов. В сочетании с дополнит. соображениями, полученными из ур-ний, описывающих физ. явление, из экспериментов или числ. расчётов, П. т. приводит к новым существенным результатам.

Анализ сложных систем с помощью моделей клеточных автоматов

Клеточный автомат — дискретная модель, изучаемая в математике, теории вычислимости, физике, теоретической биологии и микромеханике. Включает регулярную решётку ячеек, каждая из которых может находиться в одном из конечного множества состояний, таких как 1 и 0. Решетка может быть любой размерности. Для каждой ячейки определено множество ячеек, называемых соседством. К примеру, соседство может быть определено как все ячейки на расстоянии не более 2 от текущей. Для работы клеточного автомата требуется задание начального состояния всех ячеек, и правил перехода ячеек из одного состояния в другое. На каждой итерации, используя правила перехода и состояния соседних ячеек, определяется новое состояние каждой ячейки. Обычно правила перехода одинаковы для всех ячеек и применяются сразу ко всей решётке.

Клеточный автомат является математическим объектом с дискретными пространством и временем. Каждое положение в пространстве представлено отдельной клеткой, а каждый момент времени - дискретным временным шагом или поколением. Состояние каждого пространственного локуса или клетки определяется очень простыми правилами взаимодействия. Эти правила предписывают изменения состояния каждой клетки в следующем такте времени в ответ на текущее состояние соседних клеток. Впервые, идея таких автоматов отмечена в работах Неймана в 1940-х годах, когда он работал над идеей саморепродуцирующихся машин. Вплоть до конца 60-х идея клеточных автоматов была забыта и лишь в 1970 Джон Конвей, математик Кембриджского университета, описал ныне широко известный двумерный клеточный автомат, названный "Игра жизни" ("Game of life").

Игра жизни

Игра разыгрывается на двумерном массиве во избежание краевого эффекта, свернутом в тор. Каждая клетка может быть в одном из двух состояний: клетка может быть "живой" (на экране - черной) или "мертвой" (на экране - белой). Если клетка в текущем моменте времени жива, то в следующем такте времени она

будет жива в лишь в том случае, если две или три из восьми соседних клеток живы в текущем такте

времени. В противном случае, клетка погибает. Если клетка мертва, то в следующем такте времени она оживает если и только если ровно 3 соседние клетки живы в текущем такте времени. В противном случае клетка остается мертвой. Если в качестве начального состояния установить случайное распределение живых имертвых клеток, запустить модель и проследить за ее эволюцией, то можно увидеть следующее. Часть структур стабилизируются и не изменяются во времени (рис.1), часть претерпевают циклические изменения (рис.2), и, наконец, некоторые развиваются, не повторяясь, практически неограниченное время (рис.3). Эти модусы поведения структур в клеточном автомате соответствуют в дифференциальных уравнениях фиксированной точке, предельному циклу и хаосу. Таким образом, клеточные автоматы представляют альтернативный дифференциальным уравнениям путь анализа поведения сложных систем. Поскольку пространственная подразделенность является имманентным свойством клеточных автоматов, то они сильны именно там, где дифференциальные уравнения малоэффективны или неприменимы. Нет другого способа узнать эволюцию начальной конфигурации в Игре жизнь, чем реализовать игру.

Правила игры задают только поведение отдельной клетки среди ближайших соседей. Однако имеем, что в игровой клеточной среде без какого-либо изначального предписания возникают устойчивые явления более высокого порядка. Жизнь отдельных клеток, которые строго привязаны к своим позициям, порождает устойчивые возмущения в среде, называемые паттернами. Возмущения могут быть статичными, находится в состоянии осцилляции либо проявлять более сложное поведение. Например, двигаться и сталкиваться, коллапсируя или порождая новые образования с причудливыми свойствами.

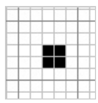


Рис.1

Такие свойства или явления, которые не были явно заданы изначально, но возникающие в результате процессов взаимодействия исходных составляющих, называются эмерджентными (дословно, возникающими). Эти свойства создаются и поддерживаются процессами внутри среды. Как только процессы исчезают – свойства также исчезают, как исчезает жизнь если разобрать организм на составляющие, а потом механически попытаться собрать воедино.

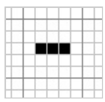


Рис.2

Эмерджентные свойства – неотъемлемая особенность сложных систем.

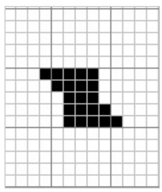


Рис.3

Клеточные автоматы Стивена Вольфрама

Вольфрам провел эксперименты с самым простым вариантом игры жизнь, в котором среда представляет собой длинную замкнутую ленту шириной в одну клетку. Им двигала идея, что если нельзя понять, что происходит в этом самом простом клеточном автомате, то о более сложных системах и нечего думать.
Правила просты. Клетка может быть живой либо мертвой в зависимости от своего прежнего состояния и состояния двух её соседей. Итого, последующее состояние клетки определяется тремя параметрами. Из возможных состояний 3 ячеек можно составить лишь 8 возможных комбинаций.

Каждая комбинация может переводить клетку в одно из 2 возможных состояний (вкл. и выкл.) Итого получается небольшое конечное число возможных правил: 256 (2^8).
На каждом правиле Вольфрам провел серию экспериментов с различными начальными данными и в результате выделил 4 класса правил:

1) Почти все начальные конфигурации устанавливаются в один и тот же финальный паттерн

2) Почти все начальные конфигурации устанавливаются в один и тот же финальный паттерн или циркулируют между несколькими финальными паттернами

3) Большинство начальных конфигураций создают выглядящее случайным поведение, а также порождают треугольники или другие регулярные структуры

4) Последний класс объединяет порядок и случайность, порождая локализованные структуры, которые будучи простыми сами по себе, двигаются и взаимодействуют друг с другом очень сложным образом.

Класс 4 является самым интересным. Примером правила 4 класса может служить «правило 110» (рис.4)

Есть кое-что неожиданное в нём. Ученик Вольфрама Мэтью Кук доказал, что это правило является Тьюринг-полным. Иными словами – это простейшая известная на данный момент вычислительная модель.

Вольфрам высказал предположение, что некоторое подобное простое правило может лежать в основе всех законов природы. По его словам, мир представляет собой сложную систему, порожденную этим простым правилом на неком вселенском клеточном автомате от большого взрыва и до мгновения, когда вы читаете эти строки.

рис.4

Это утверждение упирается в священные споры о том, является ли вселенная вычислимой или вычисление – это лишь ментальная модель, позволяющая нам описывать с некоторой точностью след от «чего-то происходящего как-то».

Применение клеточных автоматов

Вопрос о том, могут ли клеточные автоматы моделировать непосредственно законы физики, а не только общие феноменологические аспекты нашего мира, был вновь поставлен Э. Фредкином, который проявлял активность и в более традиционных областях исследований клеточных автоматов, и Т. Тоффоли. Основной целью настоящего исследования является формулировка компьютероподобных моделей в физике, сохраняющих информацию, а значит и одно из наиболее фундаментальных свойств микроскопической физики, а именно обратимость.

Модели, которые явным образом сводят макроскопические явления к точно определенным микроскопическим процессам, представляют наибольший методологический интерес, потому что они обладают огромной убедительностью и ясностью. Но для того, чтобы они вообще могли что-то нам сказать, в общем случае нет иного выхода, кроме непосредственной реализации предписаний этих моделей, на деле преодолевающей пропасть между микроскопическим и макроскопическим масштабами: имитаторы клеточных автоматов, способные обновлять состояния миллионов клеток за предельно короткое время, становятся незаменимыми инструментами.

Этот подход был использован для того, чтобы обеспечить предельно простые модели обычных дифференциальных уравнений физики, таких как уравнение теплопроводности, волновое уравнение и уравнение Навье — Стокса, которые могут мыслиться как предельные случаи исключительно простых процессов комбинаторной динамики. В частности, клеточные автоматы были созданы для того, чтобы дать точные модели динамики жидкостей, которые не только будят мысль, но и конкурентоспособны, по крайней мере, в некоторых обстоятельствах, с точки зрения их вычислительной эффективности.

Бурно развивающийся раздел теории динамических систем изучает возникновение хорошо описанных коллективных явлений — упорядочение, турбулентность, хаос, нарушение симметрии, фрактальность и др. в системах, состоящих из большого числа частиц, взаимодействующих друг с другом нелинейно; цели исследований и их математический аппарат здесь больше похожи на присущие макроскопической физике и материаловедению. Клеточные автоматы обеспечивают богатую и непрерывно растущую коллекцию типичных моделей, в которых эти явления могут быть изучены относительно легко.

Кроме того клеточные автоматы очень часто используют при решении задач алгоритмической разрешимости той или иной задачи.

Математическая составляющая клеточных автоматов

Сравнение аналитического и системного подходов

Системный подход — направление методологии научного познания, в основе которого лежит рассмотрение объекта как системы: целостного комплекса взаимосвязанных элементов (И. В. Блауберг, В. Н. Садовский, Э. Г. Юдин); совокупности взаимодействующих объектов (Л. фон Берталанфи); совокупности сущностей и отношений (Холл А. Д., Фейджин Р. И., поздний Берталанфи).

Говоря о системном подходе, можно говорить о некотором способе организации наших действий, таком, который охватывает любой род деятельности, выявляя закономерности и взаимосвязи с целью их более эффективного использования. При этом системный подход является не столько методом решения задач, сколько методом постановки задач. Как говорится, «Правильно заданный вопрос — половина ответа». Это качественно более высокий, нежели просто предметный, способ познания.

Основные принципы системного подхода

- **Целостность**, позволяющая рассматривать одновременно систему как единое целое и в то же время как подсистему для вышестоящих уровней.
- **Иерархичность строения**, то есть наличие множества (по крайней мере, двух) элементов, расположенных на основе подчинения элементов низшего уровня элементам высшего уровня. Реализация этого принципа хорошо видна на примере любой конкретной организации. Как известно, любая организация представляет собой взаимодействие двух подсистем: управляющей и управляемой. Одна подчиняется другой.
- **Структуризация**, позволяющая анализировать элементы системы и их взаимосвязи в рамках конкретной организационной структуры. Как правило, процесс функционирования системы обусловлен не столько свойствами её отдельных элементов, сколько свойствами самой структуры.
- **Множественность**, позволяющая использовать множество кибернетических, экономических и математических моделей для описания отдельных элементов и системы в целом.
- **Системность**, свойство объекта обладать всеми признаками системы.

Системный подход — это подход, при котором любая система (объект) рассматривается как совокупность взаимосвязанных элементов (компонентов), имеющая выход (цель), вход (ресурсы), связь с внешней средой, обратную связь. Это наиболее сложный подход. Системный подход представляет собой форму приложения теории познания и диалектики к исследованию процессов, происходящих в природе, обществе, мышлении. Его сущность состоит в реализации требований общей теории систем, согласно которой каждый объект в процессе его исследования должен рассматриваться как большая и сложная система и, одновременно, как элемент более общей системы.

Развернутое определение системного подхода включает также обязательность изучения и практического использования следующих восьми его аспектов:

1. системно-элементного или системно-комплексного, состоящего в выявлении элементов, составляющих данную систему. Во всех социальных системах можно обнаружить вещные компоненты (средства производства и предметы потребления), процессы (экономические, социальные, политические, духовные и т. д.) и идеи, научно-осознанные интересы людей и их общностей;
2. системно-структурного, заключающегося в выяснении внутренних связей и зависимостей между элементами данной системы и позволяющего получить представление о внутренней организации (строении) исследуемой системы;
3. системно-функционального, предполагающего выявление функций, для выполнения которых созданы и существуют соответствующие системы;
4. системно-целевого, означающего необходимость научного определения целей и подцелей системы, их взаимной увязки между собой;
5. системно-ресурсного, заключающегося в тщательном выявлении ресурсов, требующихся для функционирования системы, для решения системой той или иной проблемы;
6. системно-интеграционного, состоящего в определении совокупности качественных свойств системы, обеспечивающих её целостность и особенность;
7. системно-коммуникационного, означающего необходимость выявления внешних связей данной системы с другими, то есть, её связей с окружающей средой;
8. системно-исторического, позволяющего выяснить условия во времени возникновения исследуемой системы, пройденные ею этапы, современное состояние, а также возможные перспективы развития.

Практически все современные науки построены по системному принципу. Важным аспектом системного подхода является выработка нового принципа его использования — создание нового, единого и более оптимального подхода (общей методологии) к познанию, для применения его к любому познаваемому материалу, с гарантированной целью получить наиполное и целостное представление об этом материале.

Аналитический подход или аналитический метод - это направление научного познания в основе которого лежит разложение исследуемой системы, процесса или явления на составные части; выявлении влияния отдельных частей на всю систему, процесс или явление.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД — метод мышления, при котором изучаемое явление мысленно разъединяется на составляющие его части, что позволяет исследовать их более точно, детально, конкретно, соответственно поставленной задаче, абстрагируя от внешних связей и случайных воздействий.

Из выше сказаного можно сделать вывод, что системный подход рассматривает систему как единое целое и является очень сложным но мощным инструментом в области исследования, в то время, как аналитический подход "расчленяет" систему и анализирует каждый элемент в отдельности. Использование только аналитического подхода может вызывать трудности при переносе полученных данных в единую систему. Мы не сможем каждый конкретный результат, полученный при аналитическом эксперименте, поставить в определенное место системы, чтобы он приобрел свое реальное значение органического компонента системы, содействующего своими степенями свободы получению результата системы. Причиной этому может являтся излишнее количество теоритических данных при исследовании. Так же причиной может являться то, что не всегда и не в полной мере учитывается влияние соседних элементов системы на изучаемый элемент.

Теория 32

Аналитический - связан с работой левого полушария мозга и проявляется в расчленении рассматриваемого объекта, выделении в нем различных признаков.

Синтетический - характеризуется целостностью восприятия, вживанием в объект. Аналитические системы предполагают выбор решений из множества известных альтернатив (определение характеристик объектов), а синтетические системы - генерацию неизвестных решений (формирование объектов).

?Исходить из этих определений и предложить классификацию информационных процессов.?

Классификация информации

Информация (от лат. informatio, разъяснение, изложение, осведомленность) — сведения о лицах, предметах, фактах, явлениях, процессах, событиях реального мира независимо от их представления.

В настоящее время не существует единого определения информации как научного термина. С точки зрения различных областей знания данное понятие описывается своим специфическим набором признаков.

Информация – основа знаний. Информация, вместе с материей и энергией являются, образно говоря, тремя китами, на которых стоит наш мир. Все что мы видим, слышим, ощущаем вокруг нас является информацией.

Классификация информации

Информацию можно разделить на виды по различным критериям:

по способу восприятия:

Визуальная — воспринимаемая органами зрения.

Аудиальная — воспринимаемая органами слуха.

Тактильная — воспринимаемая тактильными рецепторами.

Обонятельная — воспринимаемая обонятельными рецепторами.

Вкусовая — воспринимаемая вкусовыми рецепторами.

по форме представления:

Текстовая — передаваемая в виде символов, предназначенных обозначать лексемы языка.

Числовая — в виде цифр и знаков, обозначающих математические действия.

Графическая — в виде изображений, предметов, графиков.

Звуковая — устная или в виде записи и передачи лексем языка аудиальным путём.

по назначению:

Массовая — содержит тривиальные сведения и оперирует набором понятий, понятным большей части социума.

Специальная — содержит специфический набор понятий, при использовании происходит передача сведений, которые могут быть не понятны основной массе социума, но необходимы и понятны в рамках узкой социальной группы, где используется данная информация.

Секретная — передаваемая узкому кругу лиц и по закрытым (защищённым) каналам.

Личная (приватная) — набор сведений о какой-либо личности, определяющий социальное положение и типы социальных взаимодействий внутри популяции.

по значению:

Актуальная — информация, ценная в данный момент времени.

Достоверная — информация, полученная без искажений.

Понятная — информация, выраженная на языке, понятном тому, кому она предназначена.

Полная — информация, достаточная для принятия правильного решения или понимания.

Полезная — полезность информации определяется субъектом, получившим информацию в зависимости от объёма возможностей её использования.

по истинности:

истинная

ложная

По области возникновения выделяют информацию:

- элементарную (механическую), которая отражает процессы, явления неодушевленной природы;
- биологическую, которая отражает процессы животного и растительного мира;
- социальную, которая отражает процессы человеческого общества.

Характерные черты информационных процессов с положительной обратной связью

Положительная обратная связь (ПОС) — тип обратной связи, при котором изменение выходного сигнала системы приводит к такому изменению входного сигнала, которое способствует дальнейшему отклонению выходного сигнала от первоначального значения.

Положительная обратная связь ускоряет реакцию системы на изменение входного сигнала, поэтому её используют в определённых ситуациях, когда требуется быстрая реакция в ответ на изменение внешних параметров. В то же время положительная обратная связь приводит к неустойчивости и возникновению качественно новых (автоколебательных) систем, называемых генераторы (производители).

Информационный процесс - совокупность последовательных действий (операций), производимых над информацией (в виде данных, сведений, фактов, идей, гипотез, теорий и пр.) для получения какого-либо результата (достижения цели).

Информация проявляется именно в информационных процессах.

Можно выделить три основных типа информационных процессов: хранение, передача и обработка информации.

Хранение информации - это распространение ее во времени. Человек хранит информацию либо в собственной памяти, либо на каких-то внешних носителях.

Обработка информации составляет основу процесса преобразования информации (принятие решения).

Информация может быть передана для ее последующего использования, обработки или хранения. Передача информации - всегда двусторонний процесс. Информация передается в форме сообщений от некоторого источника информации к ее приемнику посредством канала связи между ними. Источник посылает передаваемое сообщение, которое кодируется в передаваемый сигнал. Этот сигнал посылается по каналу связи. В результате в приемнике появляется принимаемый сигнал, который декодируется и становится принимаемым сообщением.

Человек живет в мире информации. И на протяжении всей жизни участвует во всевозможных информационных процессах. Информационные процессы всегда протекают в каких-либо системах (социальных, социотехнических, биологических и пр.).

Примеры положительной обратной связи:

-- цепная ядерная реакция (бомбардировка атома урана-235 нейтроном приводит к его распаду с испусканием в среднем больше двух нейтронов, которые, в свою очередь, вызывают распады последующих атомов, и т.д.)

-- кормление грудью: чем больше женщина кормит, тем больше молока выделяется

-- схватки при деторождении приводят к выделению гормона окситоцина, который, в свою очередь, увеличивает частоту схваток

-- детская гениальность -- по современным представлениям -- результат возникновения положительной обратной связи между рабочей памятью и мозжечком

-- шум, издаваемый динамиком, помещённым близко к микрофону

-- положительная обратная связь используется в триггерах (флип-флопах) и триггерах Шмитта

-- рост населения Земли и развитие технологии находятся в положительной обратной связи

-- банковская паника (bank run) -- порочный круг, где страх потерь питает желание немедленно забрать все деньги из банка, а изъятие денег подстёгивает страх всё большего числа вкладчиков. Это еще называется "Самоисполняющееся пророчество". Резкие колебания, характерные для курсов валют на валютном рынке, --из той же оперы.

-- Пирамидальные схемы типа МММ работают на принципе положительной обратной связи: выплата больших процентов по вкладам привлекает всё новых вкладчиков, вклады которых позволяют платить большие проценты прежним вкладчикам, и т.д. Крушение пирамиды -- тоже процесс с положительной обратной связью, вроде банковской паники.

Кибернетическая модель нервной сети в качестве информационной системы

Нейронные сети – это одно из направлений исследований в области искусственного интеллекта, основанное на попытках воспроизвести нервную систему человека. А именно: способность нервной системы обучаться и исправлять ошибки, что должно позволить смоделировать, хотя и достаточно грубо, работу человеческого мозга.

Искусственные нейронные сети (ИНС) — математические модели, а также их программные или аппаратные реализации, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей — сетей нервных клеток живого организма. Это понятие возникло при изучении процессов, протекающих в мозге, и при попытке смоделировать эти процессы. Первой такой попыткой были нейронные сети Маккалока и Питтса. После разработки алгоритмов обучения, получаемые модели стали использовать в практических целях: в задачах прогнозирования, для распознавания образов, в задачах управления и др.

ИНС представляют собой систему соединённых и взаимодействующих между собой простых процессоров (искусственных нейронов). Такие процессоры обычно довольно просты, особенно в сравнении с процессорами, используемыми в персональных компьютерах. Каждый процессор подобной сети имеет дело только с сигналами, которые он периодически получает, и сигналами, которые он периодически посылает другим процессорам. И тем не менее, будучи соединёнными в достаточно большую сеть с управляемым взаимодействием, такие локально простые процессоры вместе способны выполнять довольно сложные задачи.

С точки зрения машинного обучения, нейронная сеть представляет собой частный случай методов распознавания образов, дискриминантного анализа, методов кластеризации и т. п. С математической точки зрения, обучение нейронных сетей — это многопараметрическая задача нелинейной оптимизации. С точки зрения кибернетики, нейронная сеть используется в задачах адаптивного управления и как алгоритмы для робототехники. С точки зрения развитиявычислительной техники и программирования, нейронная сеть — способ решения проблемы эффективного параллелизма. А с точки зрения искусственного интеллекта, ИНС является основой философского течения коннективизма и основным направлением в структурном подходе по изучению возможности построения (моделирования) естественного интеллекта с помощью компьютерных алгоритмов.

Нейронные сети не программируются в привычном смысле этого слова, они **обучаются**. Возможность обучения — одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами. Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными данными и выходными, а также выполнять обобщение. Это значит, что в случае успешного обучения сеть сможет вернуть верный результат на основании данных, которые отсутствовали в обучающей выборке, а также неполных и/или «зашумленных», частично искаженных данных.

Нейронные сети: http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stneunet.html

Моделирование случайных воздействий

Незаконченная ботва

Это незаконченная статья. Автор отправился ботать или спать.

Или... зависит от автора.

Наверняка он будет благодарен, если вы найдёте в себе силы продолжить статью.

http://vfkomd.ru/docs/lections/ms/17_model%20sluch%20velichin.pdf

http://gendocs.ru/v26444/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%BF%D0%BE_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8E_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC?page=7

Особенности реализации процессов с использованием Q-схем

К Q-схемам относятся системы массового обслуживания (СМО). Под СМО понимают динамическую систему, предназначенную для эффективного обслуживания случайного потока заявок при ограниченных ресурсах системы. Обобщённая структура СМО приведена на рисунке ниже.

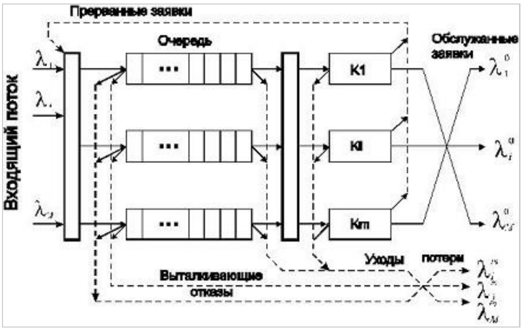
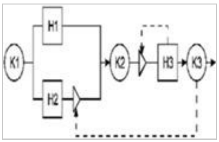


Схема СМО

При моделировании Q-схем следует адекватно учитывать как связи, отражающие движения заявок (сплошные линии) так и управляющие связи (пунктирные линии). Фрагмент Q-схемы изображен ниже.

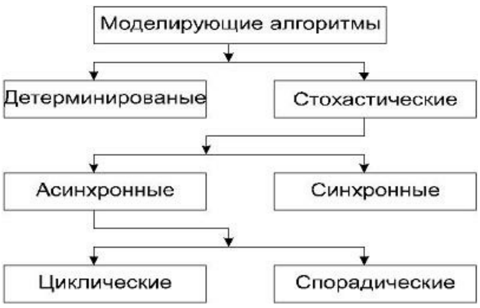


Фрагмент Q-схемы.

Примерами управляю щих связей являются различные блокировки обслуживающих каналов (по входу и по выходу) "клапаны" изображены в виде треугольников, а управляющие связи пунктирными линиями. Блокировка канала по входу означает, что этот кан ал отключается от входящего потока заявок, а блокировка канала по выходу указывает, что заявка обслуженная блокированным каналом, остаётся в этом канале до момента снятия блокировки. В этом случае, если перед накопителем нет "клапана", то при его переполнении будут иметь место потери заявок. Моделирующий алгоритм должен отвечать следующим требованиям:

- обладать универсальностью относительно структуры, алгоритмов функционирования и параметров системы S;
- обеспечивать одновременную и независимую работу системы S;
- укладываться в приемлемые затраты ресурсов ЭВМ. (памяти, времени расчёта для реализации машинного эксперимента);
- проводить разбиение на достаточно автономные логические части (блоки);
- гарантировать выполнение рекуррентного правила расчётов.

При этом необходимо иметь виду, что появление одной заявки входящего потока в некоторый момент времени t_i может вызвать изменение состояния не более чем одного из элементов Q-схемы, а окончание обслуживания заявки в момент t_i в некотором канале К может привести в этот момент времени к последовательному изменению состояний нескольких элементов (Н,К), т.е. будет иметь место процесс распространения смены состояний в направлении противоположном движению заявки в системе S. Поэтому просмотр элементов Q-схемы должен быть противоположным движению заявок. Все виды моделирующих алгоритмов Q-схемы можно классифицировать следующим образом, изображено на рисунке ниже.



Алгоритмы моделирующие Q-схему по принципу "δt" (дельта) являются детерминированными (по шагу), а по принципу особых состояний – стохастические. Последние могут быть реализованы синхронным и асинхронным способами.

При синхронном способе один из элементов Q-схемы (И, Н или К) выбирается в качестве ведущего и по нему "синхронизируется" весь процесс моделирования.

При асинхронном способе — ведущий (синхронизирующий) элемент не используется, а очередному шагу моделирования (просмотру элементов Q-схемы) может соответствовать любое особое состояние всего множества элементов И, Н и К. При этом просмотр элементов Q-схемы организован так, что при каждом особом состоянии либо циклически просматриваются все элементы, спорадически - только те элементы, которые в этом случае могут изменить своё состояние.

Свойства и понятия языков имитационного моделирования. Классификация языков имитационного моделирования

Языком программирования называют набор (систему) символов, распознаваемых ЭВМ и обозначающих операции, которые можно реализовать на ЭВМ.

Выделяют машинно-ориентированные, проблемно (процедурно)-ориентированные и объектно-ориентированные языки.

Машинно-ориентированные языки (машинные коды, АССЕМБЛЕР) всегда отражают специфику конкретной ЭВМ и, следовательно, имеют смысл только в той ЭВМ, для которой они предназначены, описывают элементарные действия ЭВМ, не обладающих проблемной ориентацией.

Процедурно-ориентированные языки не связаны ни с какой ЭВМ и предназначены для определенного класса задач, включают в себя инструкции, удобные для формулировки способов решения типичных задач этого класса.

Классические языки моделирования являются процедурно-ориентированными и обладают рядом специфических черт. Можно сказать, что основные языки моделирования разработаны как средство программного обеспечения имитационного подхода к изучению сложных систем.

Языки моделирования позволяют описывать моделируемые системы в терминах, разработанных на базе основных понятий имитации. С их помощью можно организовать процесс общения заказчика и разработчика модели. Различают языки моделирования непрерывных и дискретных процессов.

В настоящее время сложилась ситуация, когда не следует противопоставлять языки общего назначения (ЯОН) и языки имитационного моделирования (ЯИМ).

Некоторые ЯИМ базируются на конструкциях ЯОН: например, FORSIM — на языке FORTRAN, ПЛИС — на языке PL и т.д.

Преимущества языков имитационного моделирования (ЯИМ) по сравнению с универсальными языками общего назначения (ЯОН) следующие: 1) язык моделирования содержит абстрактные конструкции, непосредственно отражающие понятия, в которых представлена формализованная модель, и близкие концептуальному уровню описания моделируемой системы. Это упрощает программирование имитатора, позволяет автоматизировать выявление многих ошибок в программах; 2) языки моделирования имеют эффективный встроенный механизм продвижения модельного времени (календарь событий, методы интегрирования и др.), средства разрешения временных узлов; 3) языки моделирования, как правило, содержат встроенные датчики случайных чисел, генераторы других типовых воздействий; 4) в языках моделирования автоматизирован сбор стандартной статистики и других результатов моделирования, имеются средства автоматизации выдачи этих результатов в табличной или графической форме; 5) языки моделирования имеют средства, упрощающие программирование имитационных экспериментов, в частности, автоматизирующие установку начального состояния и перезапуск модели. *Недостатки* языков имитационного моделирования: 1) используются только стандартные формы вывода результатов моделирования; 2) недостаточная распространенность языков моделирования, которые, как правило, не входят в штатное программное обеспечение операционных систем; 3) необходимость дополнительного обучения языкам моделирования и, как следствие, недостаток программистов, хорошо владеющих языками моделирования; 4) отсутствие гибкости и широких возможностей, присущих универсальным языкам программирования.

Архитектуру ЯИМ, т.е. концепцию взаимосвязей элементов языка как сложной системы, и технологию перехода от системы *S* к ее машинной модели M_M можно представить следующим образом:

1. объекты моделирования (системы *S*) описываются (отображаются в языке) с помощью некоторых атрибутов языка;
2. атрибуты взаимодействуют с процессами, адекватными реально протекающим явлениям в моделируемой системе *S*;
3. процессы требуют конкретных условий, определяющих логическую основу и последовательность взаимодействия этих процессов во времени;
4. условия влияют на события, имеющие место внутри объекта моделирования (системы *S*) и при взаимодействии с внешней средой *E;*
5. события изменяют состояния модели системы *M* в пространстве и во времени.

Типовая схема архитектуры ЯИМ и технология его использования при моделировании систем показана на рисунке ниже.

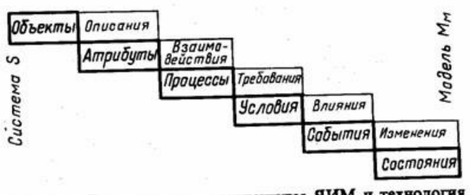


Рис. 5.1. Типовая схема архитектуры ЯИМ и технология его использования

Для программирования модели могут использоваться следующие языки:

1. Универсальные алгоритмические языки высокого уровня.
2. Специализированные языки моделирования: языки, реализующие событийный подход, подход сканирования активностей, языки, реализующие процессно-ориентированный подход.
3. Проблемно-ориентированные языки и системы моделирования.

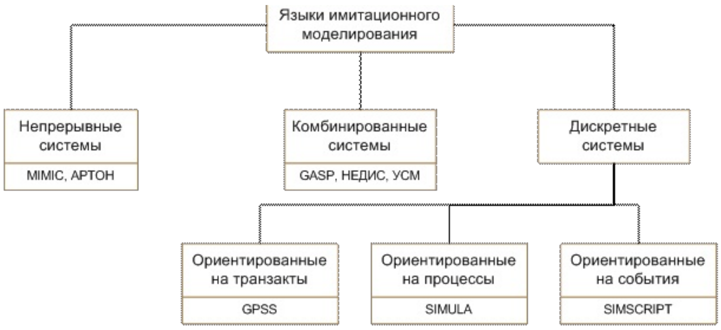
Качество языков моделирования характеризуется:

1. Удобство описания процесса функционирования;
2. Удобство ввода исходных данных, варьирования структуры, алгоритмов работы и параметров модели;
3. Эффективностью анализа и вывода результатов моделирования;
4. Простотой отладки и контроля работы моделирующей программы;
5. Доступностью восприятия и использования языка.

В большинстве своем языки моделирования определяют поведение систем во времени с помощью модифицированного событийного алгоритма. Как правило, он включает в себя список текущих и будущих событий.

Основа классификации – принцип формирования системного времени.

Непрерывное представление систем



Непрерывное представление систем сводится к представлению дифференциальных уравнений, с помощью которых устанавливают связь между входной и выходной функциям. Если выходные переменные модели принимают дискретные значения, то уравнения являются разностными.

GASP – комбинированный, в основе лежит язык FORTRAN. Предполагается, что в системе могут наступать события двух типов:

- события, зависящие от состояния
- события, зависящие от времени.

Состояние системы описывается набором переменных, причем некоторые из них меняются непрерывно. При таком подходе пользователь должен составлять процедуры, описывающие условия наступления событий. Законы изменения непрерывных переменных, правила перехода от одного состояния к другому, т.е. реализуется классический принцип ДУ.

Группы языков моделирования, ориентированные на дискретное время, используется при построении именно имитационных моделей, но при этом используются разные способы описания динамического поведения исследуемого объекта.

Стратегическое планирование машинных экспериментов с моделями систем

Машинный эксперимент с моделью системы ***S*** при ее исследовании и проектировании проводится с целью получения информации о характеристиках процесса функционирования рассматриваемого объекта. Эта информация может быть получена как для анализа характеристик, так и для их оптимизации при заданных ограничениях, т. е. для синтеза структуры, алгоритмов и параметров системы *S*. **В зависимости от поставленных целей моделирования системы *S*** на ЭВМ имеются различные подходы к организации имитационного эксперимента с машинной моделью M_M.

Основная задача планирования машинных экспериментов — получение необходимой информации об исследуемой системе *S'* **при ограничениях на ресурсы (затраты машинного времени, памяти и т. п.). К числу частных задач, решаемых при планировании машинных экспериментов, относятся задачи уменьшения затрат машинного времени на моделирование, увеличения точности и достоверности результатов моделирования, проверки адекватности модели и т. д.**

Эффективность машинных экспериментов с моделями M_M существенно зависит от выбора плана эксперимента, так как именно план определяет объем и порядок проведения вычислений на ЭВМ, приемы накопления и статистической обработки результатов моделирования системы *S*.

Поэтому основная задача планирования машинных экспериментов **с моделью M_M формулируется следующим образом: необходимо получить информацию об объекте моделирования, заданном в виде моделирующего алгоритма (программы), при минимальных или ограниченных затратах машинных ресурсов на реализацию процесса моделирования.**

Таким образом, при машинном моделировании рационально планировать и проектировать не только саму модель M_M системы *S*, **но и процесс ее использования, т. е. проведение с ней экспериментов с использованием инструментальной ЭВМ.**

Применяя системный подход к проблеме планирования машинных экспериментов с моделями систем, можно выделить две составляющие планирования: стратегическое и тактическое планирование.

Стратегическое планирование ставит своей целью решение задачи получения необходимой информации о системе*S'* **с помощью модели $M_м$ реализованной на ЭВМ, с учетом ограничений на ресурсы. По своей сути стратегическое планирование аналогично внешнему проектированию при создании системы *S*, только здесь в качестве объекта выступает процесс моделирования системы.**

При стратегическом планировании машинных экспериментов с моделями систем возникает целый ряд проблем, взаимно связанных как с особенностями функционирования моделируемого объекта (системы *S*), **так и с особенностями машинной реализации модели $M_м$ и обработки результатов эксперимента. В первую очередь к таким относятся проблемы построения плана машинного эксперимента; наличия большого количества факторов; многокомпонентной функции реакции; стохастической сходимости результатов машинного эксперимента; ограниченности машинных ресурсов на проведение эксперимента.**

При построении плана эксперимента необходимо помнить, что целями проведения машинных экспериментов с моделью $M_м$ системы *S* **являются либо получение зависимости реакции от факторов для выявления особенностей изучаемого процесса функционирования системы *S*,** либо нахождение такой комбинации значений факторов, которая обеспечивает экстремальное значение реакции.

проблема стратегического планирования машинных экспериментов — наличие большого количества факторов. Это одна из основных проблем реализации имитационных моделей на ЭВМ, так как известно, что в факторном анализе количество комбинаций факторов равно произведению числа значений всех факторов эксперимента. Если факторы $x_i \;\; i = 1, ..., k$, являются количественными, а реакция *у* связана с факторами некоторой функцией, то в качестве метода обработки результатов эксперимента может быть выбран регрессионный анализ. Когда при моделировании требуется полный факторный анализ, то проблема большого количества факторов может не иметь решения. Достоинством полных факторных планов является то, что они дают возможность отобразить всю поверхность реакции системы, если количество факторов невелико. Эффективность этого метода существенно зависит от природы поверхности реакции.

Следующей проблемой стратегического планирования машинных экспериментов является многокомпонентная функция реакции. В имитационном эксперименте с вариантами модели системы *S'* **на этапе ее проектирования часто возникает задача, связанная с необходимостью изучения большого числа переменных реакции. Эту трудность в ряде случаев можно обойти, рассматривая имитационный эксперимент с моделью по определению многих реакций как несколько имитационных экспериментов, в каждом из которых исследуется (наблюдается) только одна реакция.**

Существенное место при планировании экспериментов с имитационными моделями, реализуемыми методом статистического моделирования на ЭВМ, занимает проблема стохастической сходимости результатов машинного эксперимента. Эта проблема возникает вследствие того, что целью проведения конкретного машинного эксперимента при исследовании и проектировании системы *S'* **является получение на ЭВМ количественных характеристик процесса функционирования системы *S'*** с помощью машинной модели $M_м$. В качестве таких характеристик наиболее часто выступают средние некоторых распределений, для оценки которых применяют выборочные средние, найденные путем многократных прогонов модели на ЭВМ, причем чем больше выборка, тем больше вероятность того, что выборочные средние приближаются к средним распределений. Сходимость выборочных средних с ростом объема выборки называется *стохастической сходимостью.*

Применяя системный подход к проблеме стратегического планирования машинных экспериментов, можно выделить следующие этапы:

1) построение структурной модели;

2) построение функциональной модели.

При этом структурная модель выбирается исходя из того, что должно быть сделано, а функциональная — из того, что может быть сделано.

Структурная модель плана эксперимента характеризуется числом факторов и числом уровней для каждого фактора. Число элементов эксперимента где *k — число факторов эксперимента;* q — *число уровней* i*-го фактора,* $i = 1, ..., k$. При этом под элементом понимается структурный блок эксперимента, определяемый как простейший эксперимент в случае одного фактора и одного уровня.

Функциональная модель плана эксперимента определяет количество элементов структурной модели $N_ф$, т. е. необходимое число различных информационных точек. При этом функциональная модель может быть полной и неполной.

Функциональная модель называется полной, если в оценке реакции участвуют все элементы, т. е. $N_{ф} = N_{с}$, и неполной, если число реакций меньше числа элементов, т. е. $N_{ф} < N_{с}$. Основная цель построения функциональной модели — нахождение компромисса между необходимыми действиями при машинном эксперименте (исходя из структурной модели) и ограниченными ресурсами на решение задачи методом моделирования.

Таким образом, использование при стратегическом планировании машинных экспериментов с $M_{м}$ структурных и функциональных моделей плана позволяет решить вопрос о практической реализуемости модели на ЭВМ исходя из допустимых затрат ресурсов на моделирование системы S.

Тактическое планирование машинных экспериментов с моделями систем

Машинный эксперимент с моделью системы ***S*** при ее исследовании и проектировании проводится с целью получения информации о характеристиках процесса функционирования рассматриваемого объекта. Эта информация может быть получена как для анализа характеристик, так и для их оптимизации при заданных ограничениях, т. е. для синтеза структуры, алгоритмов и параметров системы S'**. В зависимости от поставленных целей моделирования системы S'** на ЭВМ имеются различные подходы к организации имитационного эксперимента с машинной моделью M_M.

Основная задача планирования машинных экспериментов — получение необходимой информации об исследуемой системе S' **при ограничениях на ресурсы (затраты машинного времени, памяти и т. п.). К числу частных задач, решаемых при планировании машинных экспериментов, относятся задачи уменьшения затрат машинного времени на моделирование, увеличения точности и достоверности результатов моделирования, проверки адекватности модели и т. д.**

Эффективность машинных экспериментов с моделями M_M существенно зависит от выбора плана эксперимента, так как именно план определяет объем и порядок проведения вычислений на ЭВМ, приемы накопления и статистической обработки результатов моделирования системы S'.

***'Поэтому основная задача планирования машинных экспериментов* с моделью M_M формулируется следующим образом: необходимо получить информацию об объекте моделирования, заданном в виде моделирующего алгоритма (программы), при минимальных или ограниченных затратах машинных ресурсов на реализацию процесса моделирования.**

Таким образом, при машинном моделировании рационально планировать и проектировать не только саму модель M_Mсистемы S'**, но и процесс ее использования, т. е. проведение с ней экспериментов с использованием инструментальной ЭВМ.**

Тактическое планирование представляет собой определение способа проведения каждой серии испытаний машинной модели $M_м$, предусмотренных планом эксперимента. Для тактического планирования также имеется аналогия с внутренним проектированием системы S'**, но опять в качестве объекта рассматривается процесс работы с моделью $M_м$.**

Тактическое планирование эксперимента с машинной моделью $M_м$ системы S' **связано с вопросами эффективного использования выделенных для эксперимента машинных ресурсов и определением конкретных способов проведения испытаний модели $M_м$, намеченных планом эксперимента, построенным при стратегическом планировании.**

Тактическое планирование машинного эксперимента связано прежде всего с решением следующих проблем:

1) определения начальных условий и их влияния на достижение установившегося результата при моделировании;

2) обеспечения точности и достоверности результатов моделирования;

3) уменьшения дисперсии оценок характеристик процесса функционирования моделируемых систем;

4) выбора правил автоматической остановки имитационного эксперимента с моделями систем.

Первая проблема при проведении машинного эксперимента возникает вследствие искусственного характера процесса функционирования модели $M_м$, которая в отличие от реальной системы S' **работает эпизодически, т. е. только когда экспериментатор запускает машинную модель и проводит наблюдения.**

Решение второй проблемы тактического планирования машинного эксперимента связано с оценкой точности и достоверности результатов моделирования (при конкретном методе реализации модели, например, методе статистического моделирования на ЭВМ) при заданном числе реализаций (объеме выборки) или с необходимостью оценки необходимого числа реализаций при заданных точности и достоверности результатов моделирования системыS'.

проблемой выбора количества реализаций при обеспечении необходимой точности и достоверности результатов машинного эксперимента тесно связана и третья проблема, а именно проблема уменьшения дисперсии. В настоящее время существуют методы, позволяющие при заданном числе реализаций увеличить точность оценок, полученных на машинной модели $M_м$, и, наоборот, при заданной точности оценок сократить необходимое число реализаций при статистическом моделировании. Эти методы используют априорную информацию о структуре и поведении моделируемой системы S и называются методами уменьшения дисперсии. при подходе к уменьшению дисперсии задача состоит в специальном построении моделирующего алгоритма системы S'**, позволяющего получить положительную корреляцию, например, за счет управления генерацией случайных величин. Вопрос об эффективности использования метода уменьшения дисперсии может быть решен только с учетом необходимости дополнительных затрат машинных ресурсов (времени и памяти) на реализацию подхода, т. е. теоретическое уменьшение затрат машинного времени на моделирование вариантов системы (при той же точности результатов) должно быть проверено на сложность машинной реализации модели.**

последней из проблем, возникающих при тактическом планировании имитационных экспериментов является выбор правил автоматической остановки имитационного эксперимента. Простейший способ решения проблемы — задание требуемого количества реализаций N (или длины интервала моделирования T). Однако такой детерминированный подход неэффективен, так как в его основе лежат достаточно грубые предположения о распределении выходных переменных, которые на этапе тактического планирования являются неизвестными.

Другой способ — задание доверительных интервалов для выходных переменных и остановка прогона машинной модели $M_м$ при достижении заданного доверительного интервала, что позволяет теоретически приблизить время прогона к оптимальному. При практической реализации введение в модель $M_м$ правил остановки и операций вычисления доверительных интервалов увеличивает машинное время, необходимое для получения одной выборочной точки при статистическом моделировании.