



仿真概述

目录

1

• 引子

2

• 系统、模型与仿真

3

• 计算机仿真的一般步骤

4

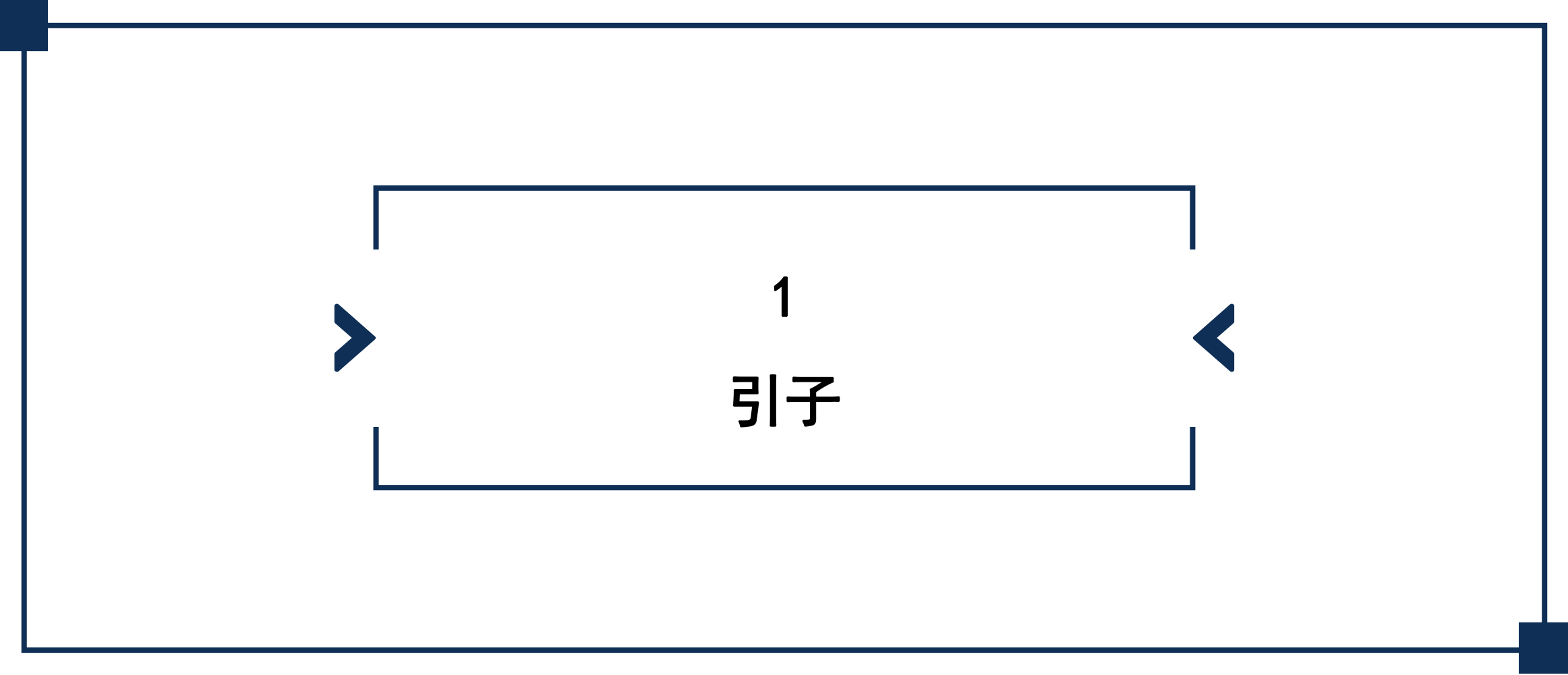
• 计算机仿真的分类

5

• 仿真的必要性和优势

6

• 信息网络与仿真的特点



引子

可能遇到的问题举例

- 采用某种**视频压缩编码**方式，经过某种信道后恢复的视频质量是否能满足要求？
- 新的**传输技术**是否能够有效改善不同信道条件下的链路性能？
- **协议如何配置**能够更有效地利用资源？
- 在某一区域提供移动通信服务需要多少基站才能够**满足通信需求**？
- 局域网的资源配置方式能**容纳多少台计算机**？
- 路由器中缓冲区**配置多大**才能够满足要求？

解决问题的三种方法

- 理论分析
 - 对于一些较简单的系统理论分析方法能够给出闭式解（解析解）；
 - 较复杂的系统则往往通过大量简化，总结为较简单的数学公式后通过数值方法进行计算；
 - 随着信息与通信系统的日益复杂化，多种错综复杂的因素互相交织在一起，很难进行合理的简化；
 - 理论分析方法往往很难奏效；
- 实验
 - 构造与实际系统非常相似的物理实体，通过在这些物理实体上施加相应的输入得到我们所需的问题答案；
 - 可信度较高；
 - 但是由于现代信息与通信系统规模很大，系统很复杂，构造高度相似的物理模型经济成本和社会成本都很高；
 - 往往不可能实现
- 仿真



2

系统、模型与仿真

系统

- 哲学味很浓的概念；
- 从古希腊古典唯物主义哲学家德谟克利特开始，不同领域的学者对系统给出过多种不同的定义；
- Geoffrey Gordon
 - “按照某些规律结合起来，互相作用、互相依存的所有实体的集合或总和”。
- 系统举例：
 - 信息与通信领域：我们的研究对象可以是一个通信网络、一个移动通信的基站、一个调制解调器、一块电路板，甚至可以是一个集成电路芯片。

系统

系统的三要素

实体

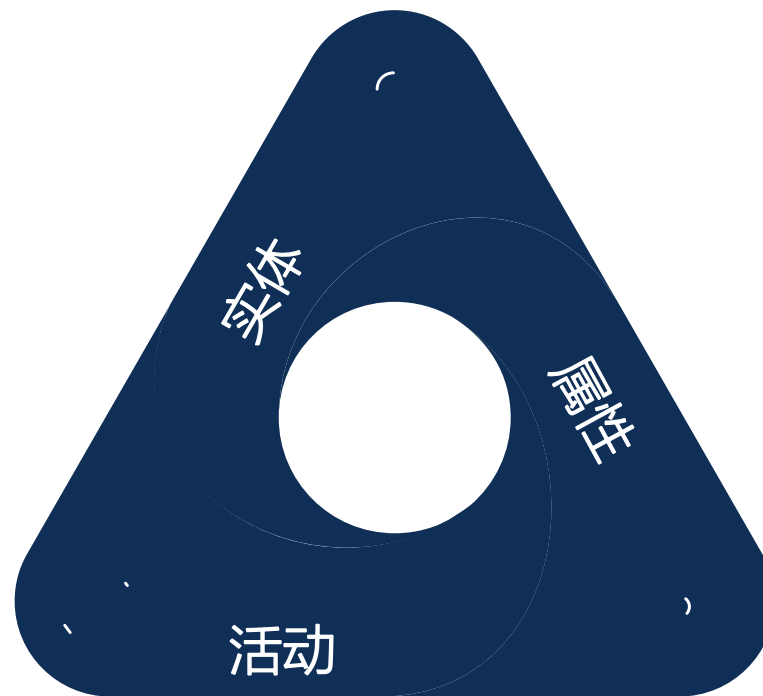
系统内存在的确定的物体

属性

系统内每一物体的有效特征

活动

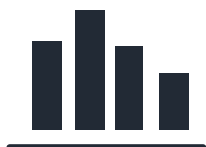
系统内部发生的所有变化过程



- 系统中各要素不是孤立地存在着，每个要素在系统中都处于一定的位置上，起着特定的作用，要素之间相互关联，构成了一个不可分割的整体。

系统

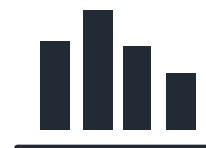
确定系统与随机系统



确定系统

- 活动完全确定性的系统
- 系统的输入一旦给定，系统内各个参量和系统输出随时间的变化关系都将完全确定。

根据系统中活动的
随机性划分



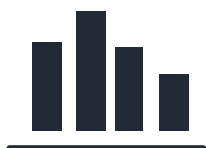
随机系统

- 具有随机型活动的系统，随机型活动通常用概率分布加以描述
- 如电路系统中的噪声、电话系统中通话时间的长短等都是随机的；
- 信息与通信系统都属于随机系统

模型

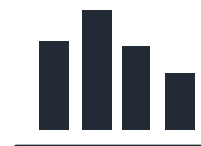
- 为了便于对系统进行研究，经常需要对实际系统本质进行抽象、简化和近似，构造模型。
- 基于模型的实验方法占据了越来越重要的位置。
- 直接在实际系统上进行实验有非常多的限制
 - 在系统的设计阶段，真实系统还没有建立，只能通过对模型实验；
 - 在某些实际系统上进行实验会引起系统破坏或发生故障，造成较大损失；
 - 需多次实验时才能获得可信结果时，直接在实际系统上实验难以保证每次实验的条件的一致性，对实验结果的分析不利；
 - 有的系统活动持续时间太长，直接实验可能耗费大量的时间和人力成本。
- 基于模型的实验则可以克服这些限制，并且往往具有时间短、成本低的优点。

物理模型与数学模型



物理模型

- 采用一定的比例按真实系统的“样子”制作的看得见、摸得着的模型；



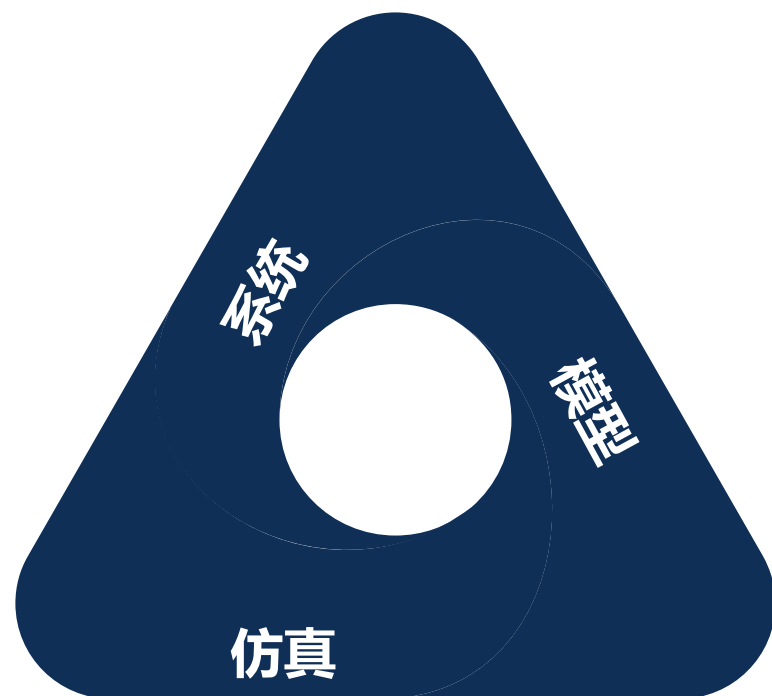
数学模型

- 用各种数学表达方式来描述系统的内在规律

仿真 (Simulation)

- (广义) 仿真：所有**基于模型的实验活动**；
- 仿真活动包括“**建模 - 实验 - 分析**”三个步骤；
- 物理仿真：基于物理模型的实验活动。
 - 优点：直接、形象、可信；
 - 缺点：模型受限、易破坏、难以重用。
- **直接在数学模型上仿真活动是不现实的。**
- 计算机仿真：**现代仿真技术中，把数学模型转化为仿真模型在计算机上进行的实验活动。**
- (狭义) 仿真：**通常所说的仿真，指借助计算机编程实现仿真模型对系统进行研究的实验活动。**

系统、模型与仿真



系统

是研究的对象；

模型

是系统的抽象；

仿真

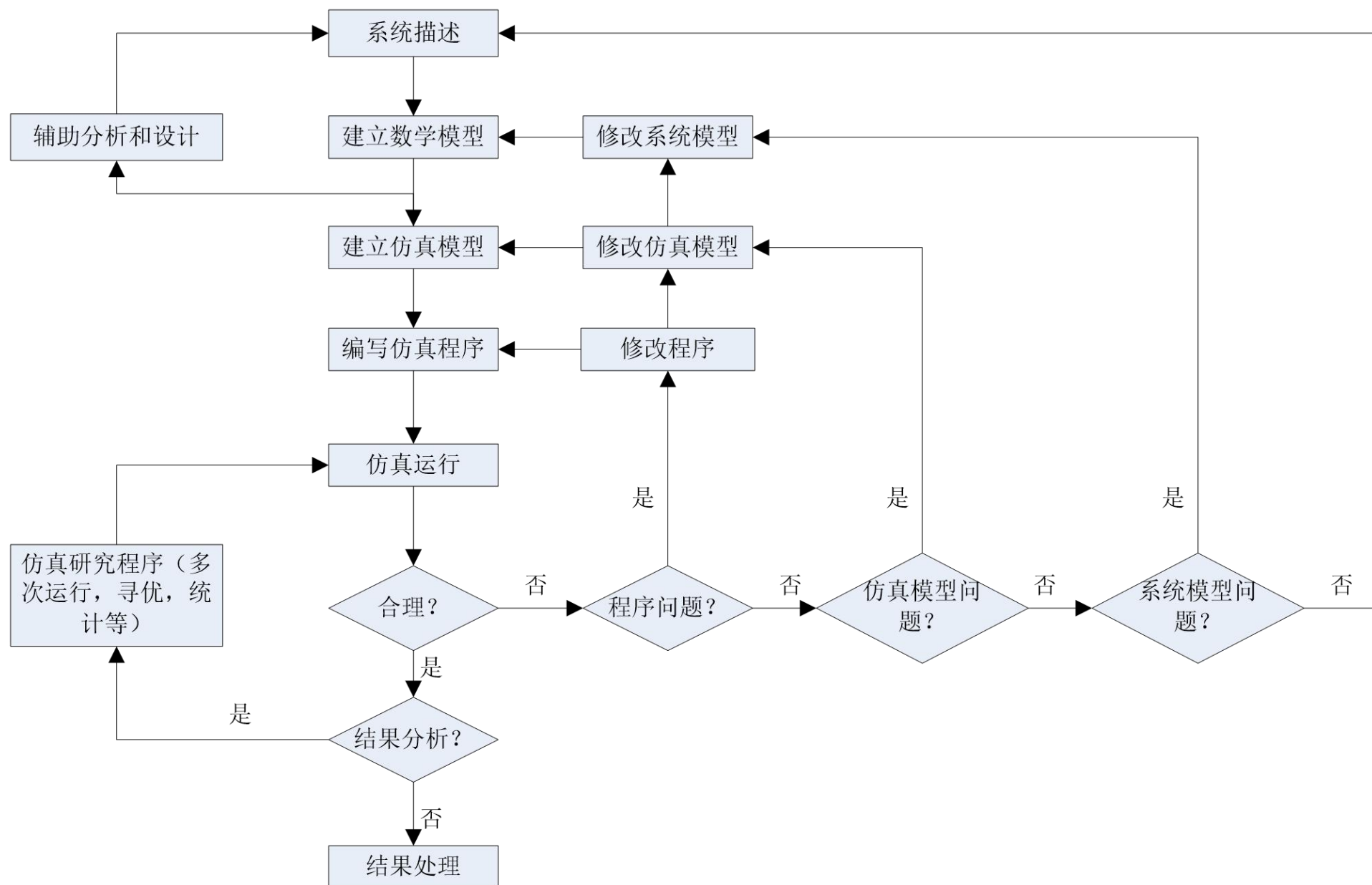
通过对模型的实验以达到研究系统的目的。



3

计算机仿真的一般步骤

计算机仿真的一般步骤



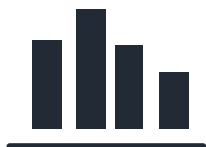
计算机仿真的一般步骤

系统建模

- 将实际系统用概念模型进行描述;
 - 包括：系统边界和输入输出的确定、系统抽象和关键因素分析、实体划分、参数定义、变量模型的确定等;
- 概念模型可以用各种形式的数学语言给出。
 - 比如微分方程、差分方程、数据流图、状态图、伪代码甚至它们的组合等。
- 确定概念模型的过程中可能需要反复进行模型可信度检验，以确定概念模型确实能够反映出我们所关心的系统特征。

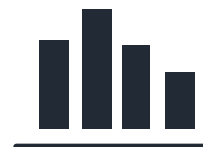
计算机仿真的一般步骤

仿真策略的选择



仿真策略

- 仿真过程中仿真时钟的控制;
- 仿真中各种活动的处理方式



选择依据

- 系统中各实体之间的交互关系;
- 实体属性随时间的变化关系;
- 实体的输入、状态和输出。

计算机仿真的一般步骤

仿真建模

- **仿真建模**：将系统的概念模型转换为适合于在所选仿真策略下进行仿真的仿真模型。
- **关键**：针对概念模型中总结出的各种数学描述，结合计算的稳定性、仿真精度要求和仿真速度等因素，选择适当的算法实现概念模型。
- 同样涉及到模型的可信度验证问题。

计算机仿真的一般步骤

程序设计

- 将仿真模型用**计算机能执行的程序**描述出来；
- 程序的测试与检验是必不可少的，这里的测试与检验不但包括仿真程序本身的检测与调试，更重要的是要检验**仿真程序与仿真模型**的吻合程度。

仿真实验

- 在模型上进行仿真活动，得到输出。
- 可以根据仿真的目的**设定不同的条件对模型进行多方面的实验，相应地得到模型的输出。**

计算机仿真的一般步骤

仿真分析

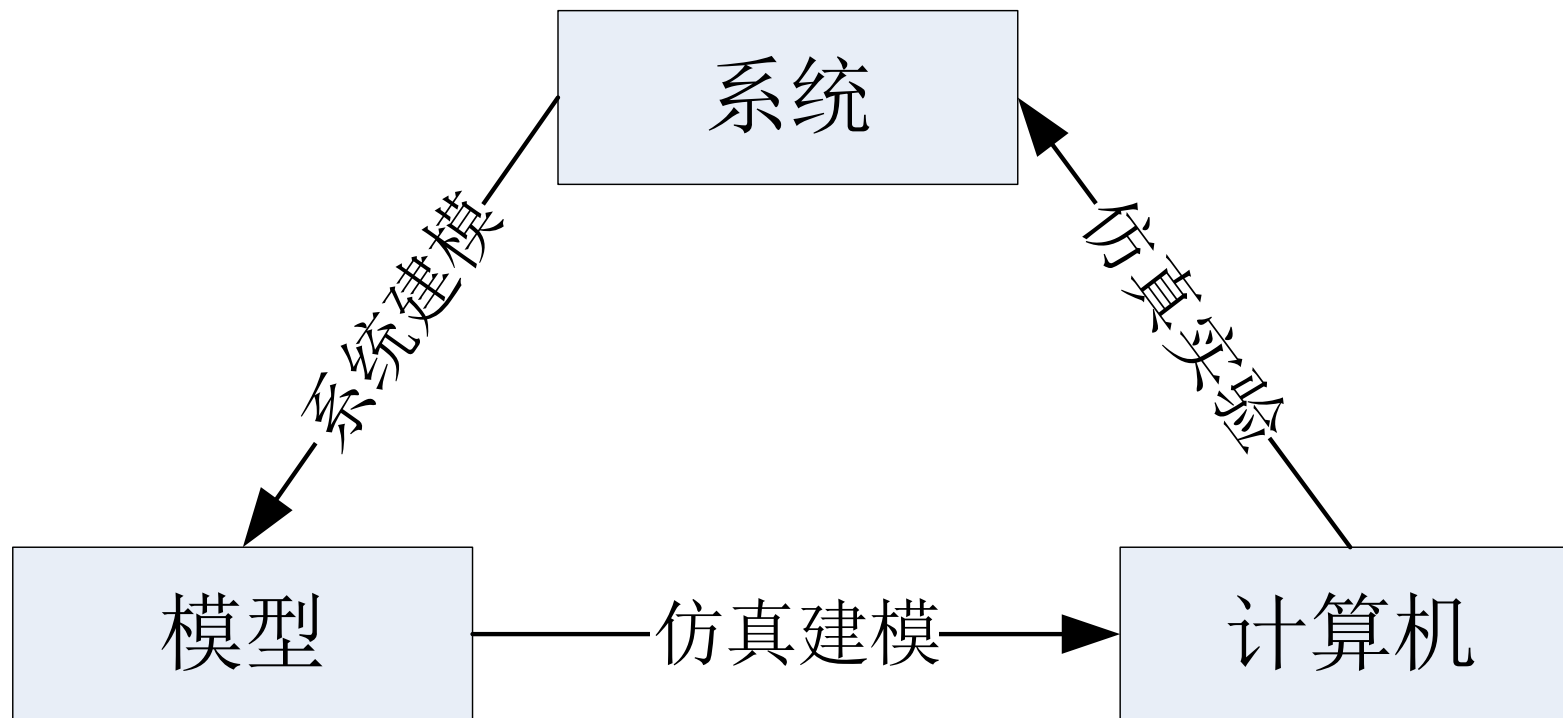
- 仿真输出分析的过程既是对研究对象得出结论的过程，也是对模型的可信性进行进一步检验的过程。
- 现代仿真中，仿真结果的分析越来越得到重视。

V&V (Verification and Validation)

- 贯穿计算机仿真的全过程；
- 只有在各个步骤执行有效的Verification 和Validation，才能保证仿真结果能够反映实际系统的运行状况。
- 现代仿真技术所关注的另一个重点。

计算机仿真的一般步骤

三个要素与三个活动





4

计算机仿真的分类

计算机仿真的分类

分类标准

➤ 按模型形态分

- ❑ 物理模型：有实物介入。具有效果逼真，精度高等优点，但造价高或耗时长
- ❑ 数学模型：在计算机上进行，具有非实时性离线的特点，经济快速实用。

➤ 按时间相对性分

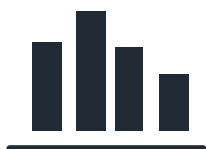
- ❑ 实时仿真：仿真时间标尺等于自然时间标尺（即仿真的时间过程等于实际的时间过程）
- ❑ 亚实时仿真：仿真时间标尺大于自然时间标尺（即仿真的时间过程慢于实际的时间过程）
- ❑ 超实时仿真：仿真时间标尺小于自然时间标尺（即仿真的时间过程快于实际的时间过程）

➤ 按系统模型的特性分

- ❑ 模型的动态性、状态变量变化的连续性、模型的确定性、系统模型的驱动方式

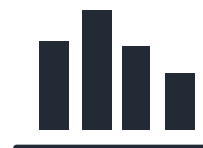
按系统模型的特性分类

模型的动态性



静态仿真

- 模型本身不随时间变化而变化
- 不需要考虑时间因素，即仿真模型中不考虑仿真时钟的管理与更新问题



动态仿真

- 大部分仿真模型中必须包含时间因素
- 模型本身的各种行为都与时间密切相关，针对这种模型的仿真都属于动态仿真。

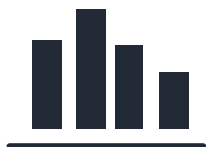
按系统模型的特性分类

状态变量变化的连续性

- 连续系统仿真和离散事件系统仿真
- 连续系统仿真：系统本身的状态变量是连续变化的，这种系统往往可以建模为微分方程形式，在实际计算机处理时，则需要转换为差分方程的求解问题进行处理；
- 离散事件系统仿真：针对离散事件系统模型的仿真。在离散事件系统中，状态变量只在某些离散的时间点上发生变化，也只有发生这些事件的时间点上系统的状态才会发生变化。
- 离散事件系统仿真很难用统一的数学形式描述出来，其仿真过程也不再是差分方程求解问题，往往需要在统一的仿真时钟控制下仿真不同事件的处理过程，跟踪系统状态的变化，得到相应的输出。
- 连续系统仿真和离散事件系统仿真具有完全不同的处理方式。

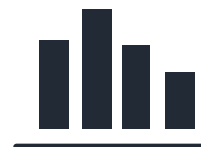
按系统模型的特性分类

模型的确定性



确定性仿真

- 所研究的系统模型中所有元素的数学和逻辑关系都是确定的，不包含任何随机成分。
- 例如：能够归结为确定系数差分方程组模型的连续系统仿真



随机性仿真

- 所研究的系统模型中包含随机元素。

按系统模型的特性分类

系统模型的驱动方式

➤ 数据流驱动、时间驱动和事件驱动

➤ **数据流驱动仿真机制**：数据流从前端的实体流向后端的实体，各个实体依次处理，在一次数据流的整个处理过程中不需要考虑时间变量。

- 这种处理方法适合于实体间相互作用较为简单的系统

- 单个通信链路的仿真往往可以采用这种方式

➤ **时间驱动仿真机制**：时间变量按一定步长推进，整个仿真模型在仿真时间变量的驱动下工作。

➤ **事件驱动仿真机制**：系统模型是离散事件系统模型，则仿真钟可以在事件控制下推进，所对应的仿真机制属于事件驱动仿真机制。



5

信息网络建模与仿真的必要性

仿真的必要性

真实系统实验无法实现

- 真实系统实验和理论分析方法往往都没有办法满足系统研究的要求，使得**仿真成为一种必不可少的研究手段**
- **真实系统实验在很多情况下是无法实现的**
 - 首先，在信息网络的预研阶段，真实系统是不存在的，必须基于模型对系统进行实验和研究。
 - 其次，在很多情况下，即使真实系统存在也不能直接在系统中进行实验。有的信息与通信网络是关乎国计民生大系统，在真实系统中直接进行实验可能引起系统破坏或发生故障，甚至带来极其严重的社会影响
 - 另外，在真实系统不能保证多次实验的条件相同，无法重现实验中出现的问题

仿真的必要性

数学分析方法的局限性

- 首先，对于复杂系统而言，实体之间交叉互连，相互影响，要得到一个能用简单数学表达式表示的数学模型几乎是不可能的，往往需要在很多简化假设的基础上才能得到可求解的数学模型。
- 其次，实际信息网络中的实体往往具有时变性和随机性，这使得实际系统往往具有组合复杂性和动态复杂性。

计算机仿真的优势

与真实系统实验相比

- **成本优势**：PC上实现
- **时间优势**：软件模拟，成熟工具
- 实验条件的**可控性和可重现性**。

与解析分析方法相比

- 支持**时变性、动态性**：包含对时间量的建模
- 保证**有效性和准确性**：较少的假设与简化
- **直观性**



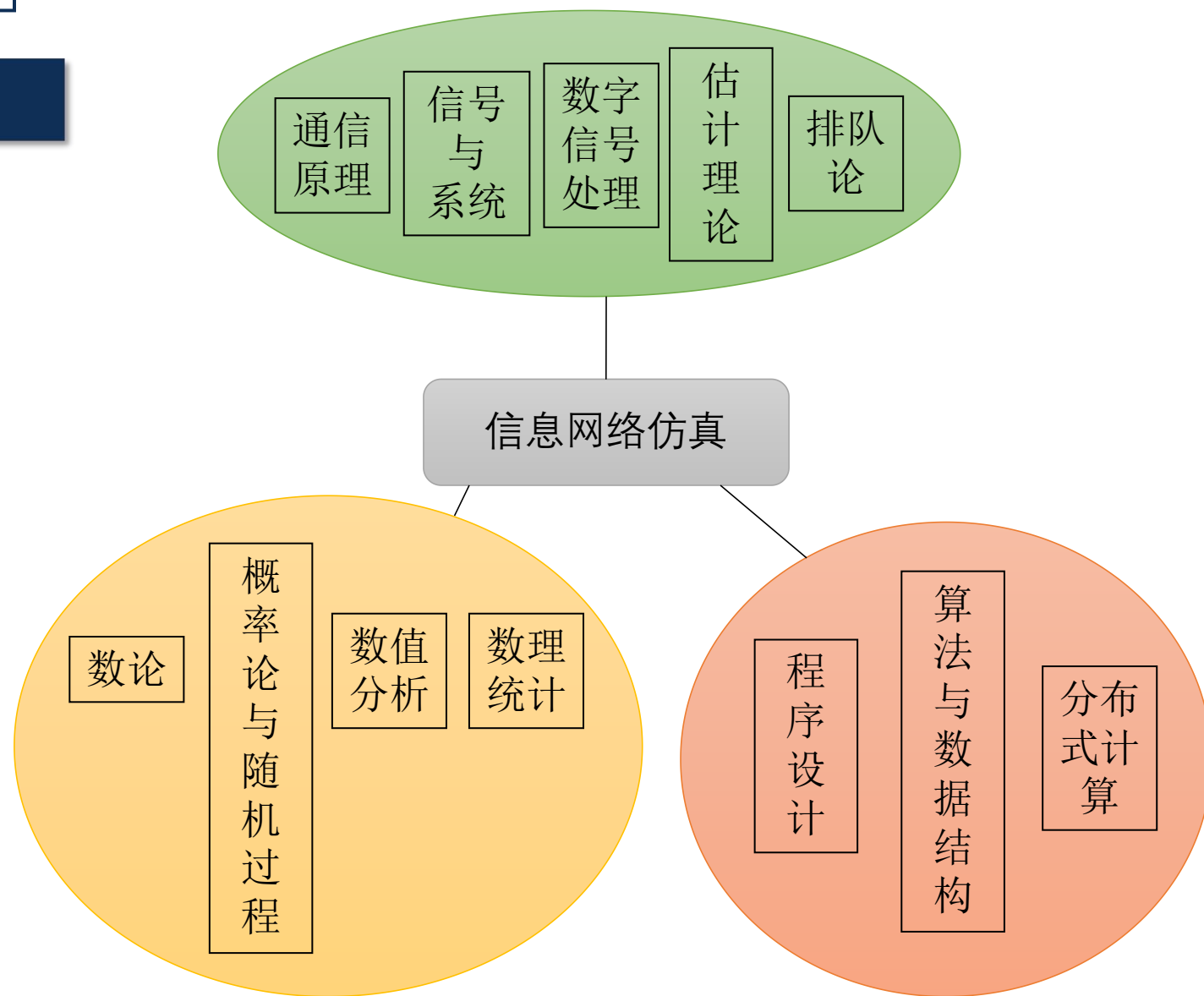
6

信息网络建模与仿真的特点

信息网络建模与仿真的特点

多学科交叉

- 信息网络仿真包含**建立系统模型、开发仿真模型、实现仿真模型、执行仿真和仿真验证等步骤**，在这一系列过程中，需要用到**多个领域、多个科目**的知识。



信息网络建模与仿真的特点

多学科交叉

信号与系统

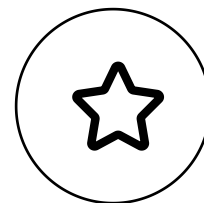
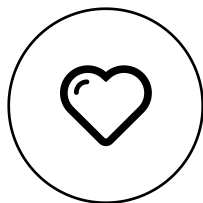
关于线性系统的理论给出了一整套时域和频域的分析方法，为建立信息网络的系统模型打下了基础；

排队论

是通信系统上层的主要建模与分析工具；

概率论与随机过程

是仿真中的一种常用数学工具，
信息网络仿真大部分情况下是随机仿真，其中的很多量都是随机变量，仿真要处理的信号和噪声等都是随机过程的样本函数；



通信原理

理解调制、均衡等各种通信技术是建立适当系统模型的关键；

数字信号处理

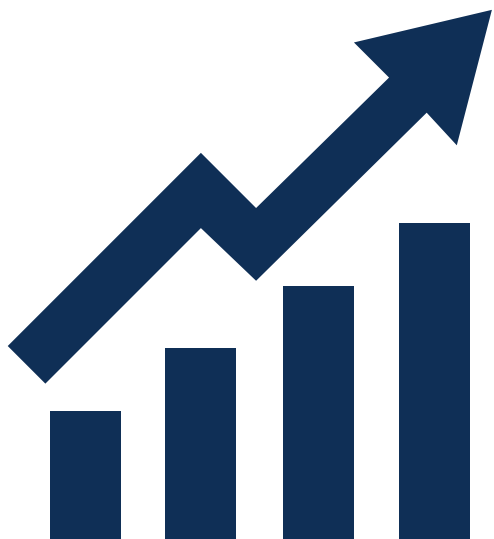
常用来开发构成信息网络仿真模型的算法，而且现代数字通信系统中的各种处理与数字信号处理技术本身就密切相关；

估计理论与数理统计

能够用于对特定仿真结果的有效性和可信度进行评估；

信息网络建模与仿真的特点

多学科交叉



数论

①

信息网络仿真需要产生满足某些条件的**伪随机变量**，这些伪随机变量的产生方法通常是以数论为基础的；

数值分析

②

信息网络仿真中经常会涉及差分方程求解、曲线拟合和插值等操作，这些方法都源于数值分析

计算机科学

③

为了实现仿真模型，不可避免的会用到计算机科学方面的一些理论，程序设计理论、算法与数据结构理论的利用都是解决仿真模型实现问题的保证；

分布式计算

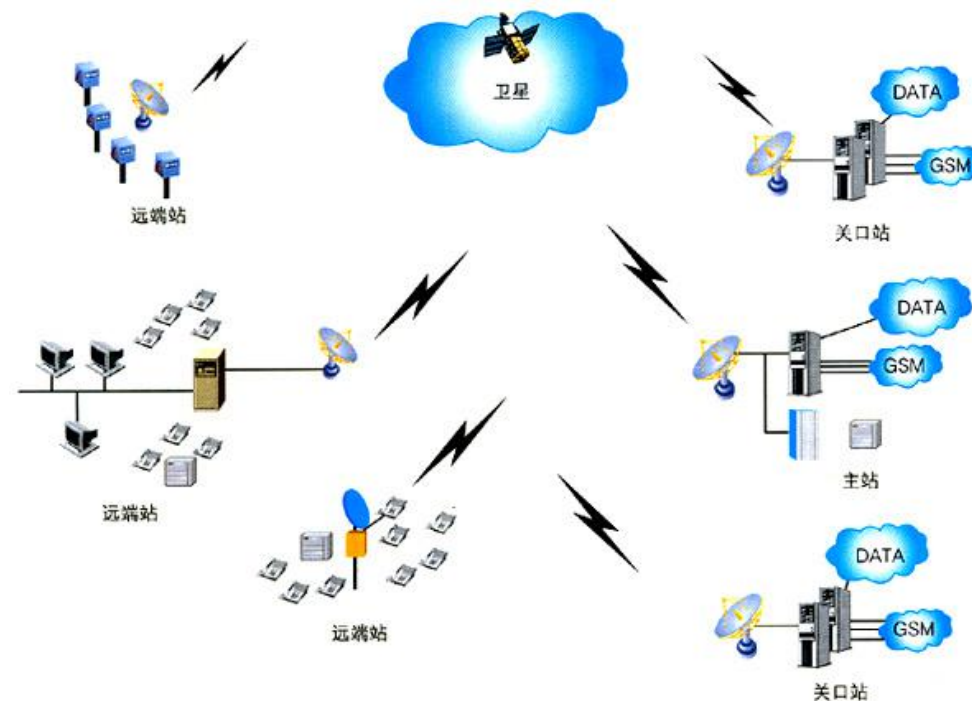
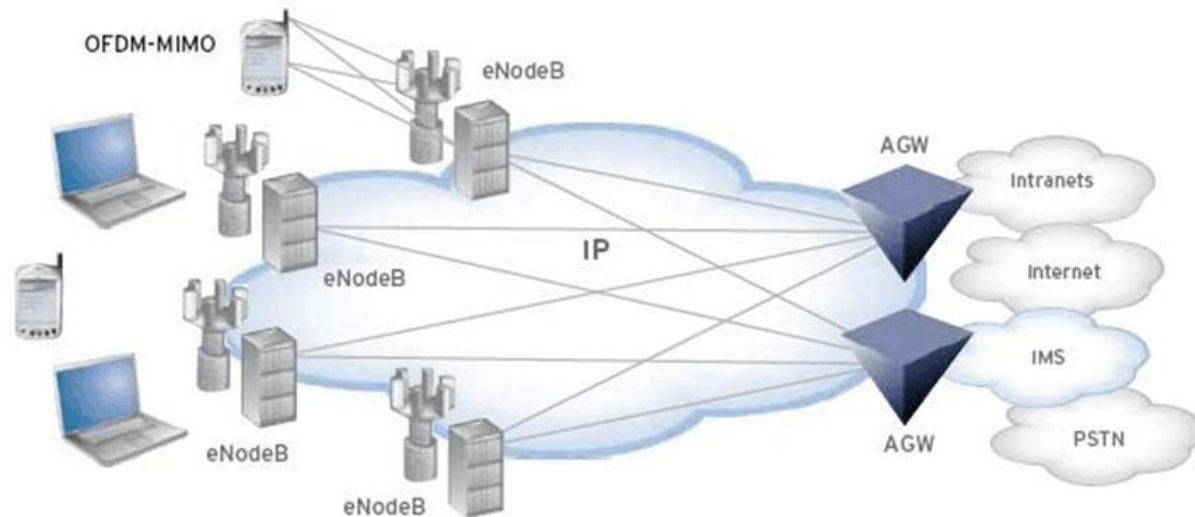
④

现代信息网络仿真的规模和仿真量越来越大，分布式计算方法需要计算机科学中的分布式计算理论作指导。

信息网络建模与仿真的特点

复杂性

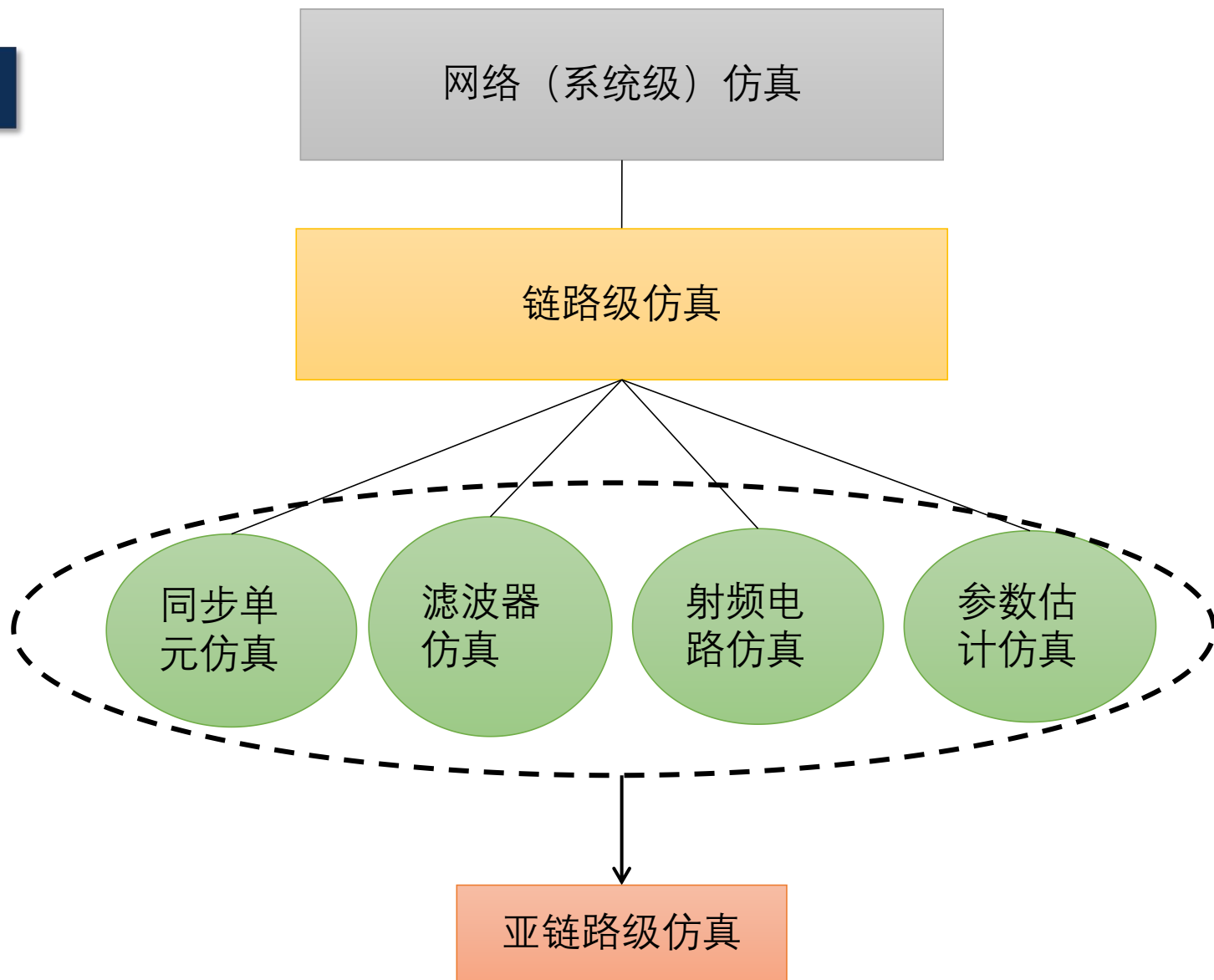
- 广义上讲，信息网络指的是遍布全球的通信网络，包括有线通信网、移动通信网、卫星通信网、广播网和数据通信网等。
- 每个网络都包括很多节点，节点之间通过底层链路和上层协议互相联系，构成一个非常复杂的系统。
- 每个链路的情况又各不相同，具有不同的信道、不同的调制编码技术、不同的干扰情况、不同的器件等。



信息网络建模与仿真的特点

层次性

- 对如此复杂的信息网络用单个模型进行建模仿真显然是不现实的。
- 信息网络仿真通常采用**分层抽象仿真**的方法。
 - 整个复杂系统的仿真分为若干个层次，分别评估系统的不同性能指标
 - 在进行上层仿真时，下层通过相应的接口为上层提供一个抽象模型。
 - 由于各个层次仿真具有不同的特点和仿真目的，因此采用的仿真机制往往也各不相同。



信息网络仿真的层次性

网络（系统级）仿真

- 网络（系统级）仿真：用于数据包或信息在网络节点之间的流动和处理过程。
- 主要评估指标包括：网络的吞吐量、时延、时延抖动、丢包率和资源利用效率等。
- 网络仿真常用于：评估处理器配置、协议参数和缓冲器（Buffer）大小等资源配置的合理性。
- 所采用的仿真机制：离散事件驱动的动态仿真机制。
- 网络仿真需要链路级仿真为其提供一个抽象的接口模型。
 - 这个模型通常表征的是一些系统参数与误码率（或误码块率）之间的关系，而不关心链路级以下滤波、调制、编码、均衡等细节。

链路级仿真

- 链路级仿真：与**具体通信技术**紧密相关的一个仿真层次，用于仿真承载信息的波形在各种信道条件下的传输情况。
- 链路级仿真模型通常包含：**调制解调、编译码、均衡**等收发两端的各种信号处理过程。
- 链路级仿真的评估指标：**误码率、误帧率和误码块率**等。
- 链路级仿真通常采用：**同步数据流驱动**的仿真机制。
- 链路级仿真为系统仿真提供抽象接口。

亚链路级仿真

- 亚链路级仿真：
 - 链路级以下的仿真层次变种比较多，也可以归属于链路级的子类。
 - 常见的有：**同步单元仿真、滤波器仿真、射频电路仿真和参数估计部分仿真**等。
 - 这些仿真将一些相对独立的模块从链路级仿真中独立出来，用于评估一些模块独有的性能指标。
- **同步单元仿真**的评估指标包括：时频跟踪精度、捕获时间、锁相环的失锁概率等。
- **滤波器仿真**的评估指标主要是：滤波器特性与设计指标的吻合程度。
- **射频电路仿真**的评估指标是：电路的动态范围和线性范围等。
- **参数估计部分仿真**的性能指标主要是：估计参数的均方误差。

信息网络仿真的层次性

亚链路级仿真

- 该层次仿真任务的多样性使得它们所采用的仿真机制也不尽相同。
 - ❑ 滤波器的仿真：属于时间驱动的确定性仿真。
 - ❑ 同步部分的仿真：采用时间驱动连续系统级仿真机制或数据流驱动的仿真机制。
 - ❑ 参数估计部分：采用与链路级仿真类似的数据流驱动仿真机制。
- 这些仿真能够为链路级仿真提供一些简化的抽象模型。
 - ❑ 同步单元仿真：为链路级仿真提供同步误差模型。
 - ❑ 滤波器仿真：为链路级仿真提供传递函数模型。
 - ❑ 参数估计部分：为链路级仿真提供估计误差模型。
 - ❑ 射频电路仿真：为链路级仿真提供放大器的非线性特性。
- 这些模型的抽象能够在简化链路级仿真实现的同时，保证一定的仿真准确性。

在信息与通信领域中的应用

- 学术研究;
- 技术预研和标准化;
- 系统设计与规划;
- 算法选择与优化;
- 设备研制;
- 网络部署与参数设置;
- 网络运营过程中的优化与参数调整。



THANKS FOR WATCHING

