

第十三章：数字控制系统简介

2022年12月9日

内容安排

13.1

数字控制系统的基本概念

13.2

采样与保持

13.3

Z变换

13.4

数字控制系统的数学模型

13.5

数字控制系统的性能分析

13.6

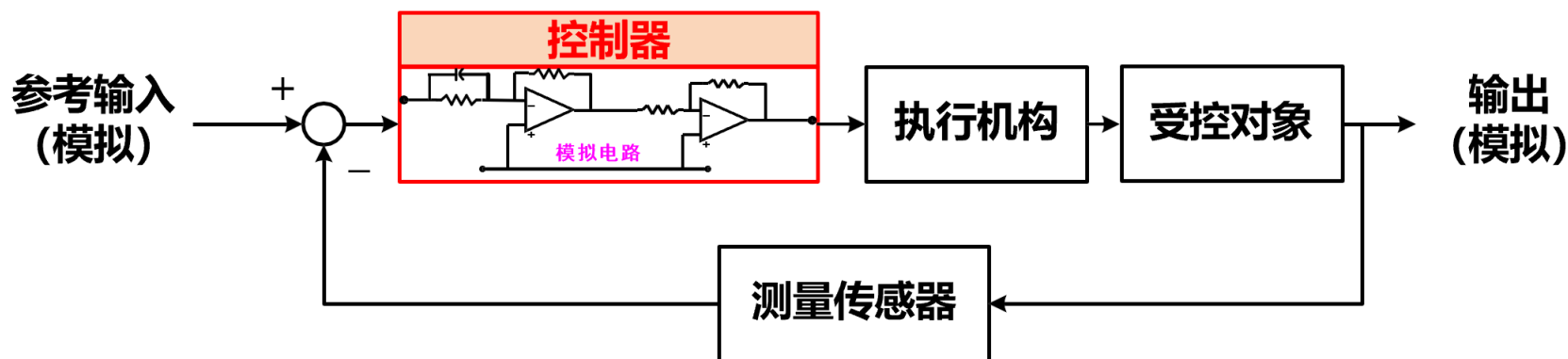
数字控制系统设计

13.7

Matlab在数字控制系统中的应用

模拟（连续）控制系统

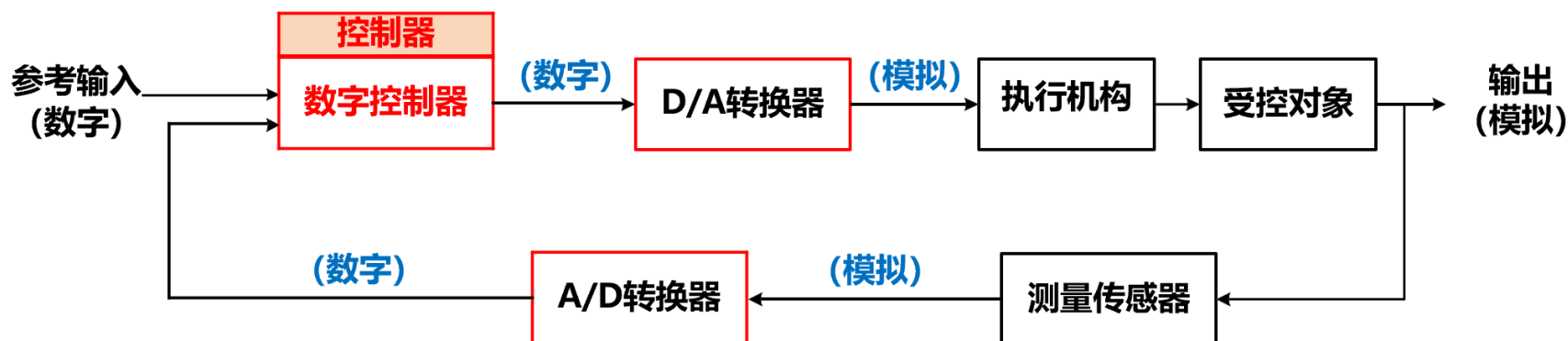
系统内信号通常是**模拟信号**。当控制任务越来越复杂时，需要用多个控制系统统一协调工作来共同完成。**物理实现非常困难。**



模拟（连续）控制系统

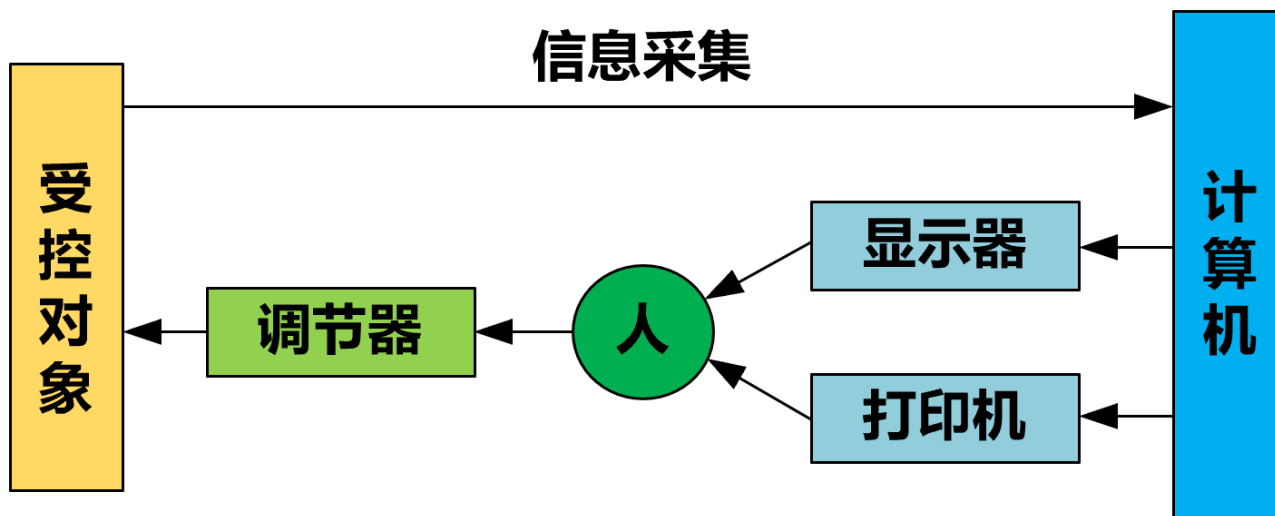
数字控制系统

将连续控制系统中的**比较器和控制器的功能用计算机来实现**，就组成了一个典型的数字（计算机）控制系统。



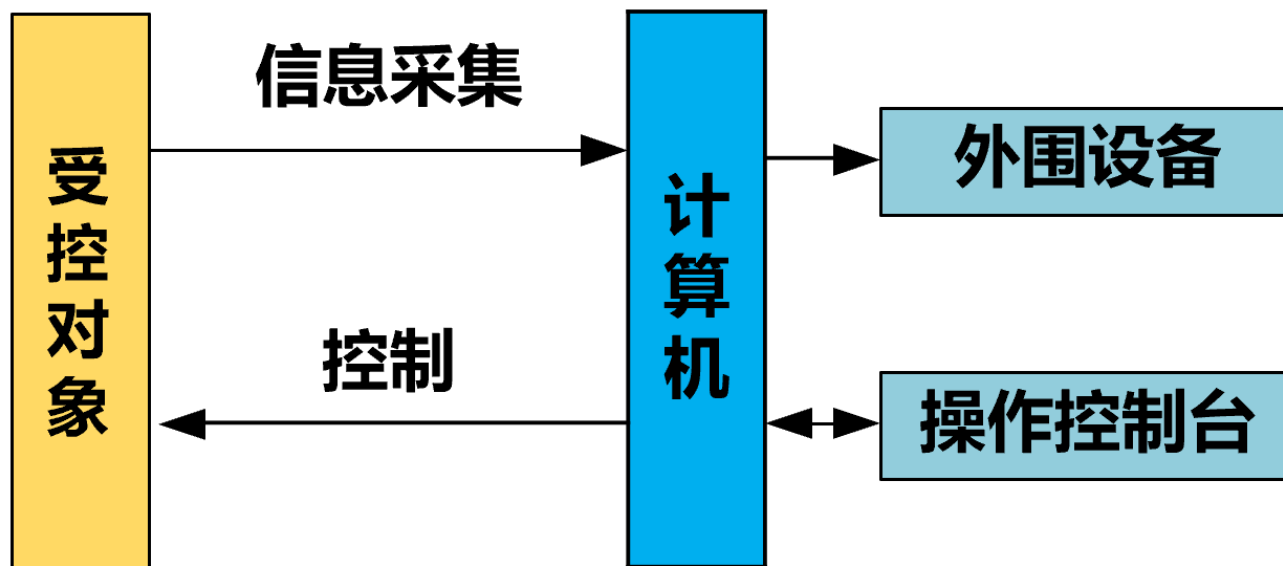
数字控制系统

计算机控制系统的基本类型



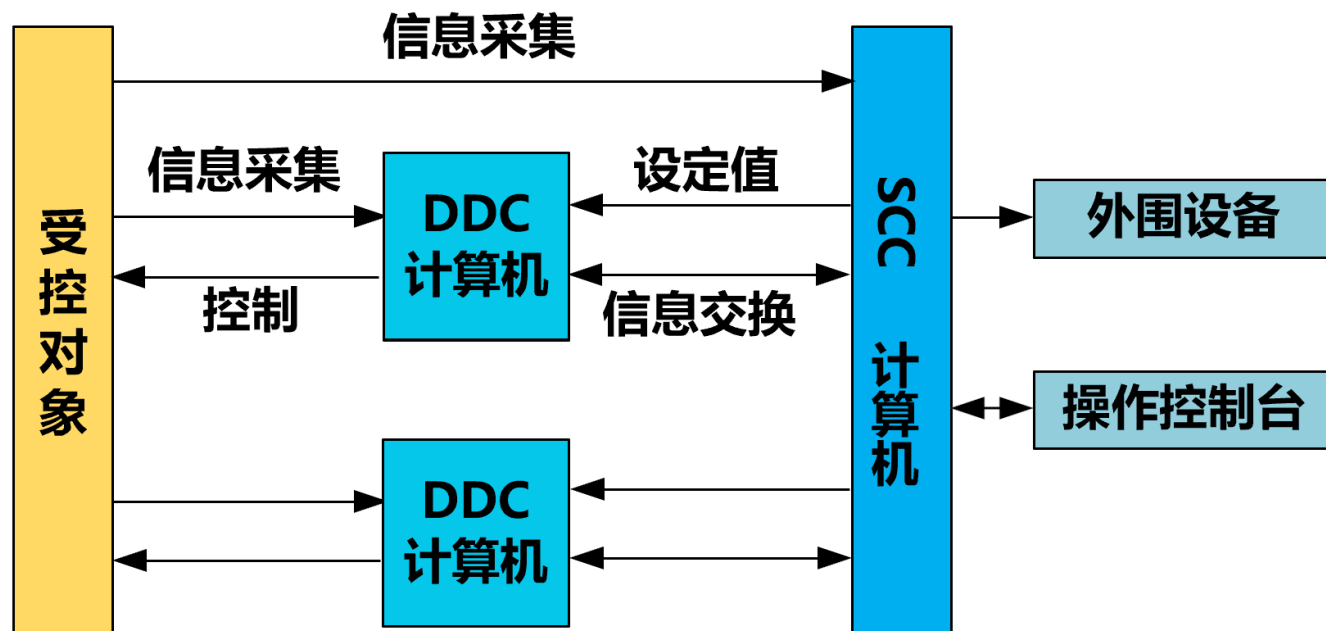
20世纪50年代，操作指导系统（OGS）

计算机控制系统的基本类型



20世纪60年代，直接数字控制系统（DDC）

计算机控制系统的基本类型



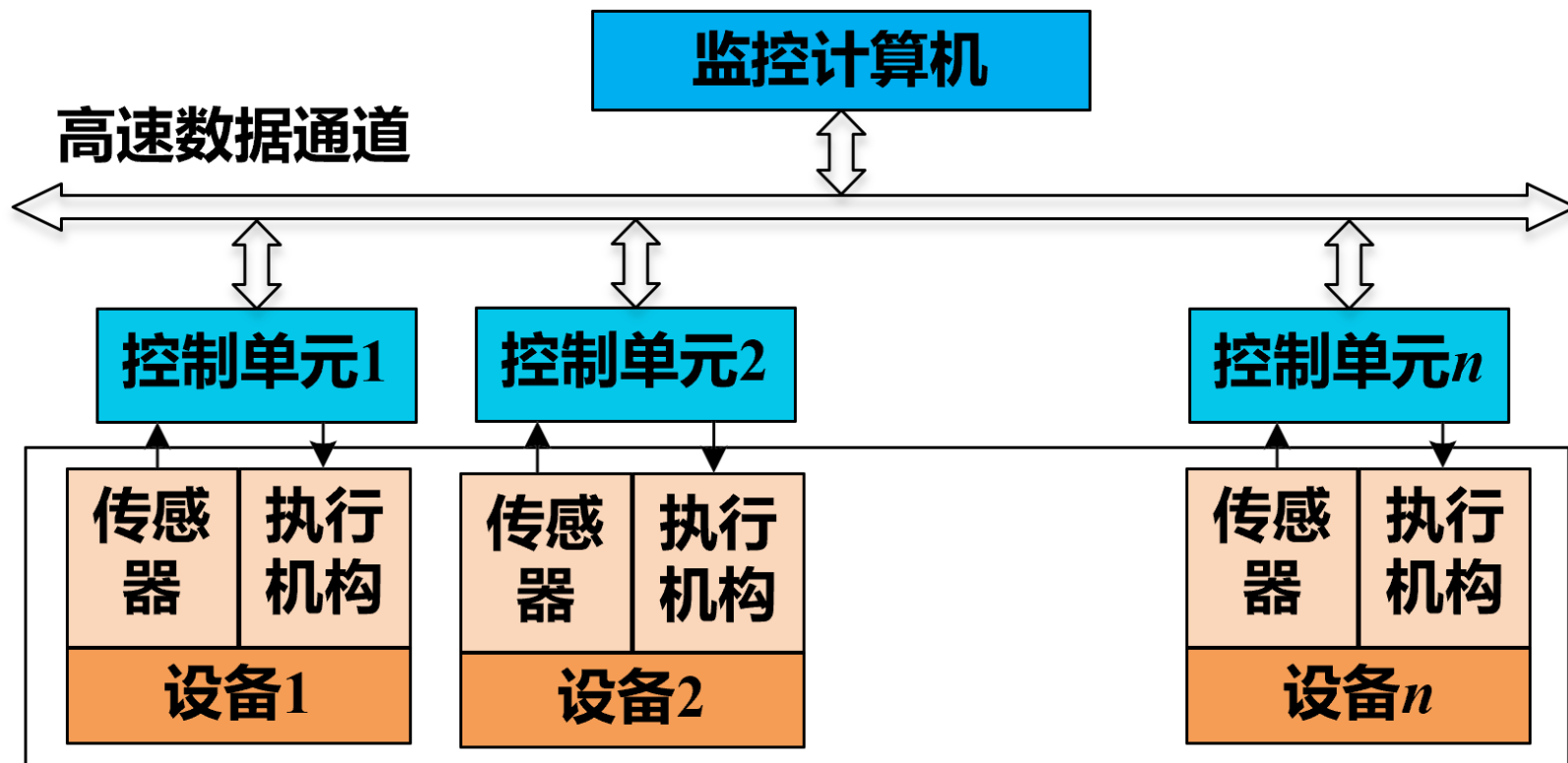
20世纪60年代，监督控制系统（SCC）

计算机控制系统的基本类型



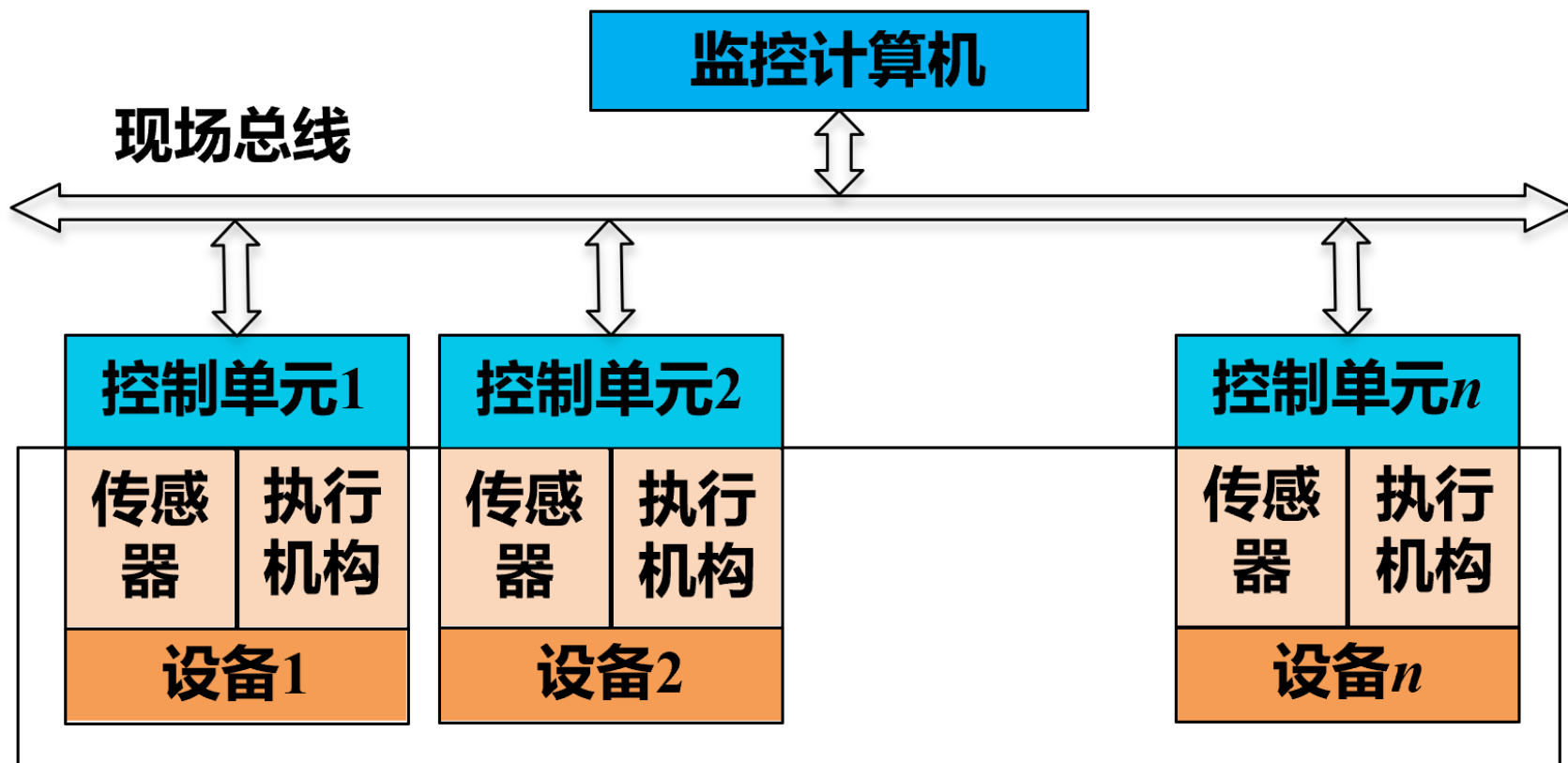
20世纪60年代，集中控制系统（ICS）

计算机控制系统的基本类型



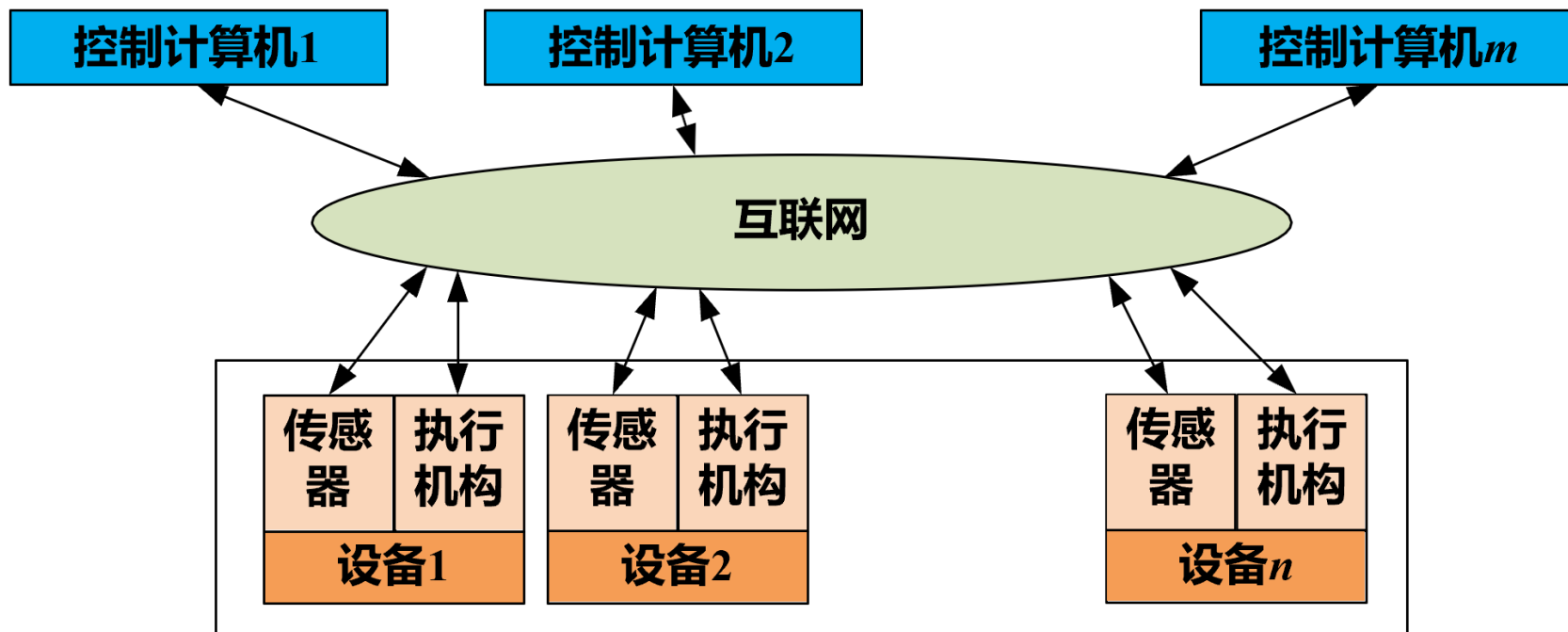
20世纪70年代，集散控制系统（DCS）

计算机控制系统的基本类型



20世纪80年代，现场总线控制系统（DCS）

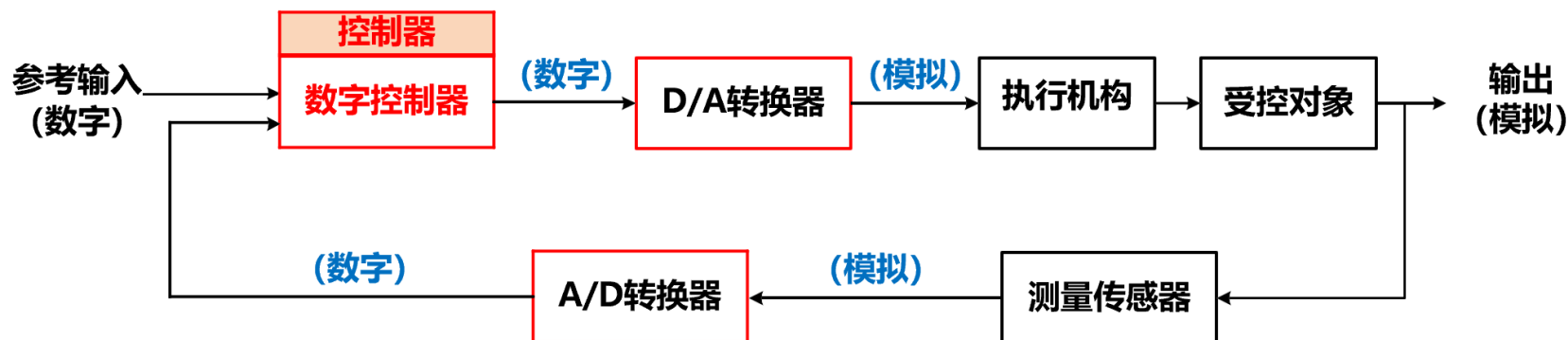
计算机控制系统的基本类型



20世纪90年代，网络控制系统（NCS）

数字控制系统

数字控制系统通常是**模拟信号和数字信号的混杂系统**。因此，在系统内部，需要进行模拟信号和数字信号之间的相互转换。



数字控制系统

内容安排

13.1

数字控制系统的基本概念

13.2

采样与保持

13.3

Z变换

13.4

数字控制系统的数学模型

13.5

数字控制系统的性能分析

13.6

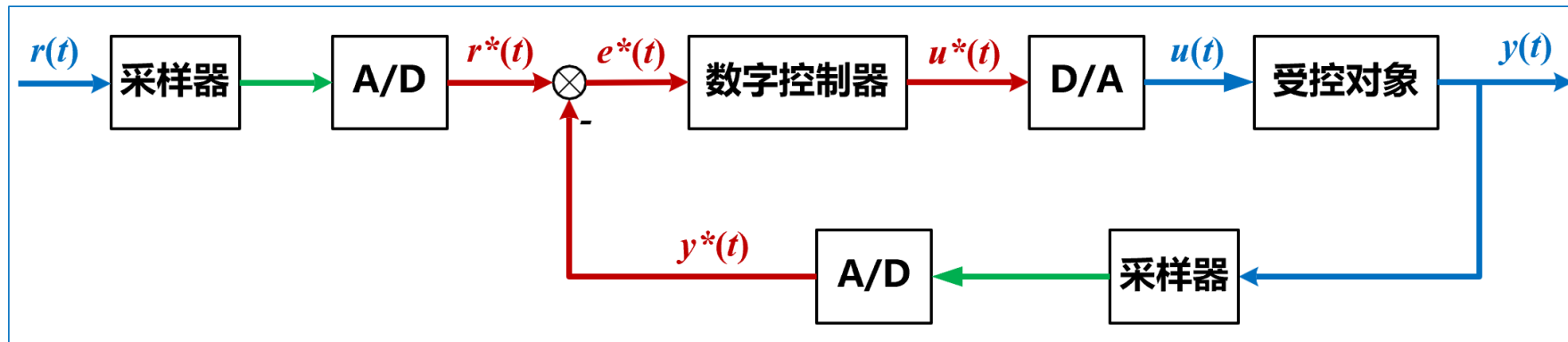
数字控制系统设计

13.7

Matlab在数字控制系统中的应用

数字控制系统中的信号转换分析

- **模拟（连续）信号**：时间上连续，幅值上连续
- **离散模拟（采样）信号**：时间上离散，幅值上连续
- **数字（离散）信号**：时间上离散，幅值上离散

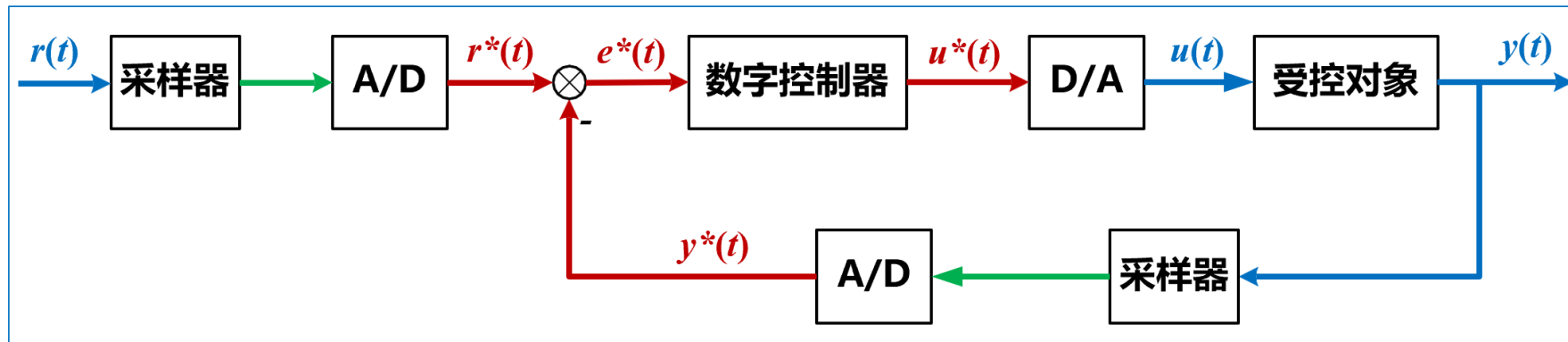


数字控制系统中的信号转换关系

数字控制系统中的信号转换分析

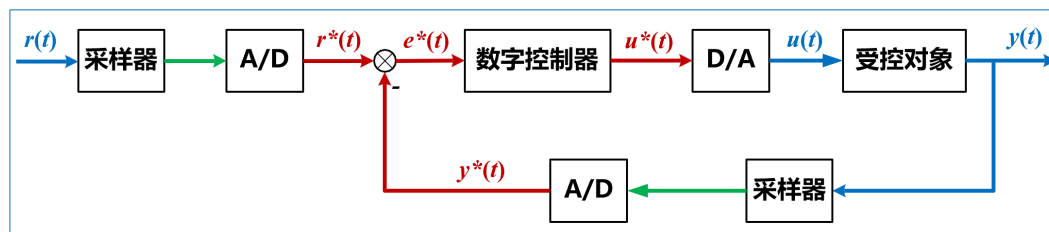
采样器：利用采样开关，将模拟信号按一定时间间隔 T 抽样成离散模拟信号。

A/D转换器：将离散模拟信号的幅值进行量化，进而转换成数字信号。

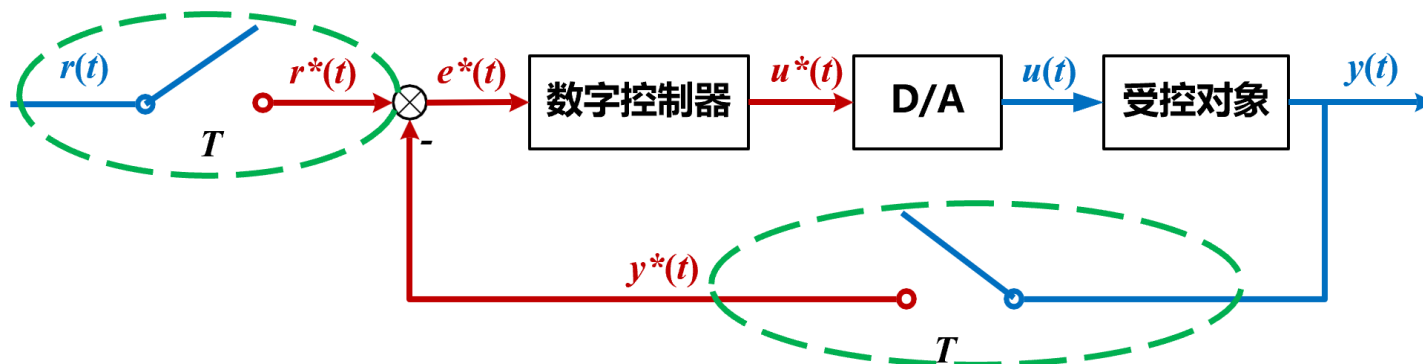
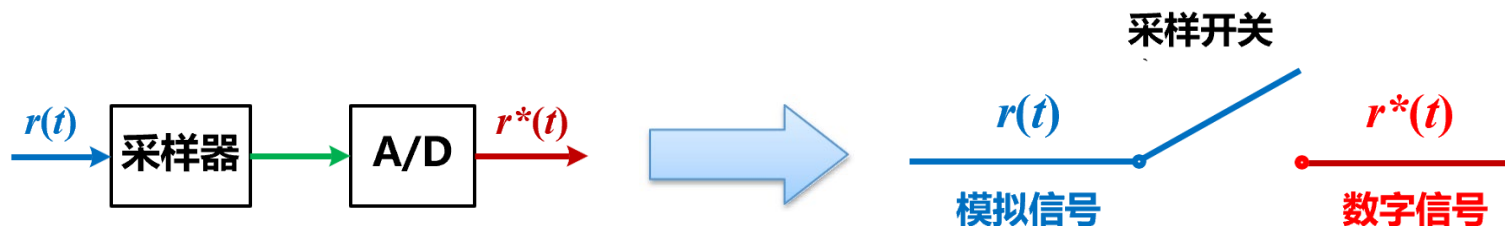


数字控制系统中的信号转换关系

数字控制系统中的信号转换分析

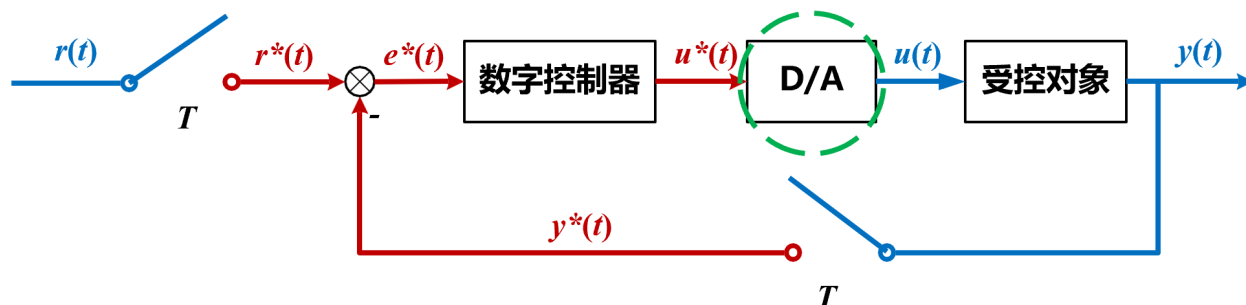


数字控制系统中的信号转换关系



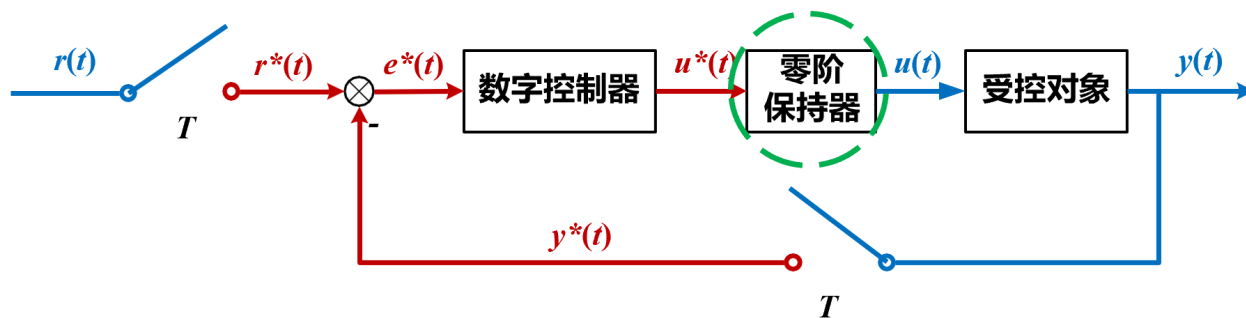
数字控制系统中的信号转换关系

数字控制系统中的信号转换分析



数字控制系统中的信号转换关系

D/A转换器：把数字量转换化成模拟量，在数学上可以用零阶保持器来代替。

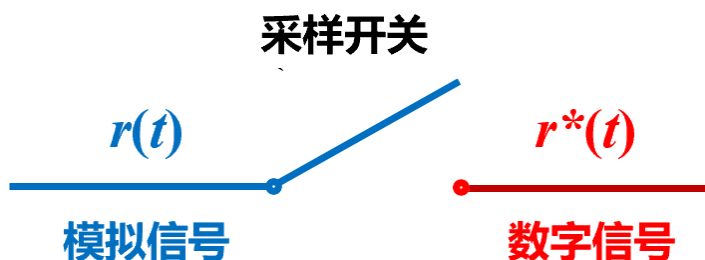


数字控制系统结构示意图

信号采样

在当前的采样时刻 kT ，输出的采样/数字信号 $r^*(t)$ 表示为：

$$r^*(t) = r(kT) \delta(t - kT)$$



$$\delta(t - kT) = \begin{cases} \infty, & t = kT \\ 0, & t \neq kT \end{cases},$$

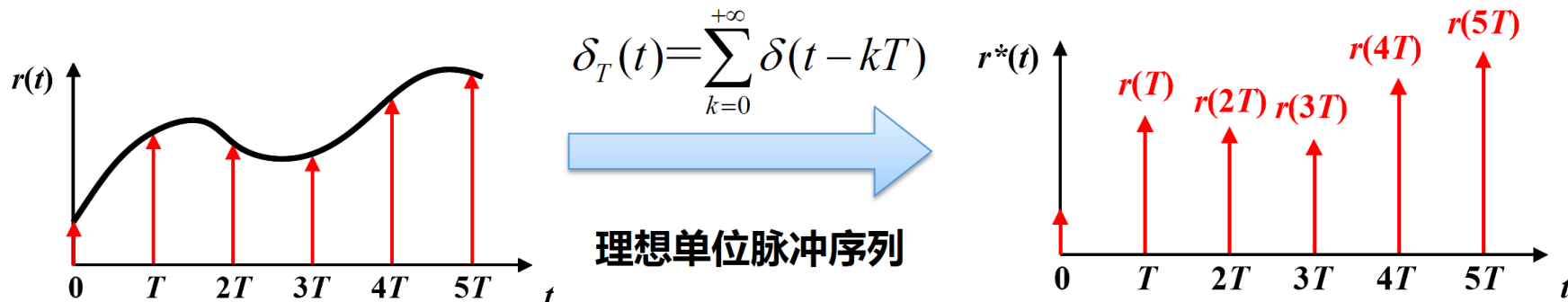
$$\int_0^{\infty} \delta(t - kT) dt = 1$$

对输入 $r(t)$ 的理想采样

理想单位脉冲

物理意义：时刻 kT 的采样信号是一个脉冲，其中 $\delta(t - kT)$ 表示脉冲存在的时刻，冲量为1，而脉冲的大小由采样时刻的函数值 $r(kT)$ 表示。

信号采样

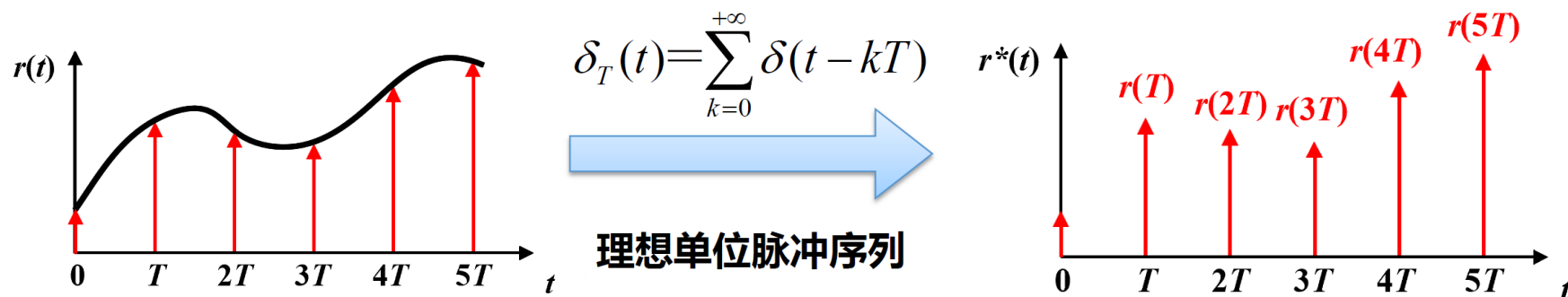


理想脉冲采样信号：

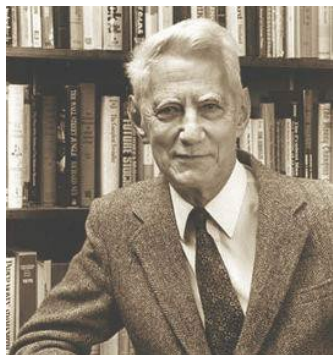
$$r^*(t) = r(t)\delta_T(t) = r(t) \sum_{k=0}^{+\infty} \delta(t - kT) = \sum_{k=0}^{+\infty} r(kT)\delta(t - kT)$$

物理意义：采样信号 $r^*(t)$ 为一脉冲序列，其中 $\delta(t - kT)$ 表示脉冲存在的时刻， $r(kT)$ 表示脉冲的大小。

信号采样



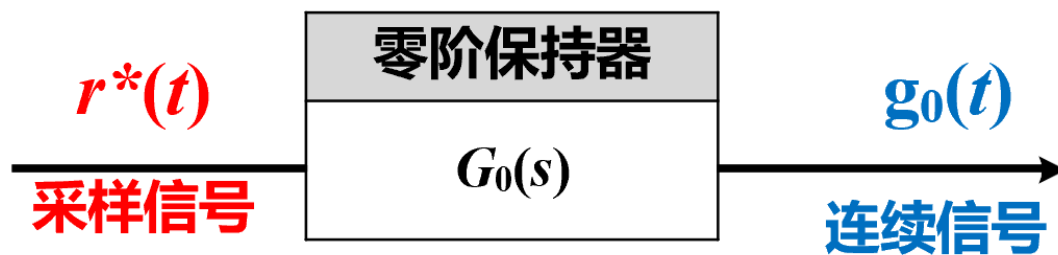
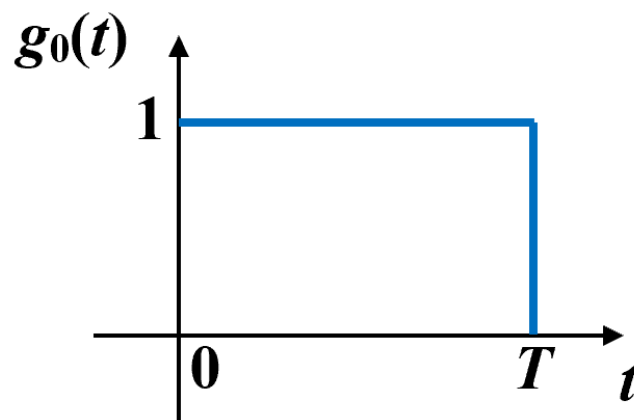
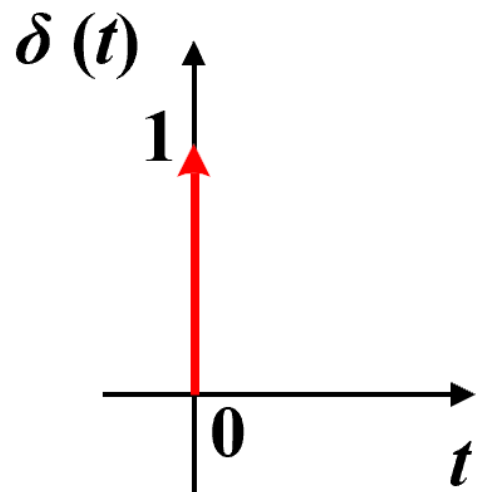
采样信号 $r^*(t)$ 能否完全反映连续信号 $r(t)$ 的变化规律，或者说 $r^*(t)$ 能否包含 $r(t)$ 中的全部信息？



香农(Shannon)采样定理

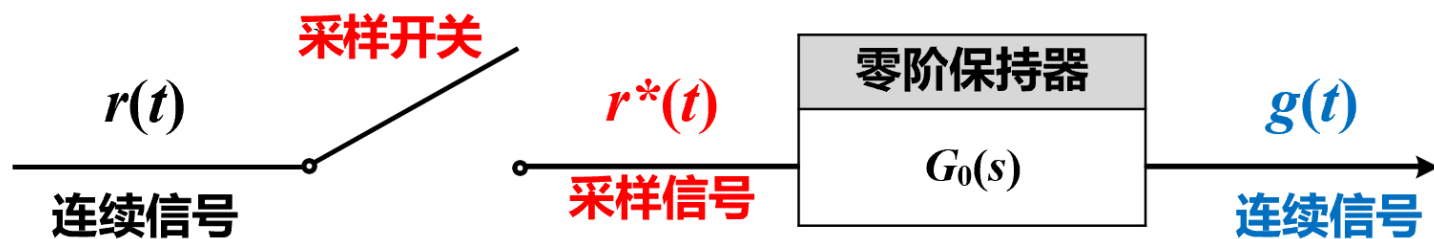
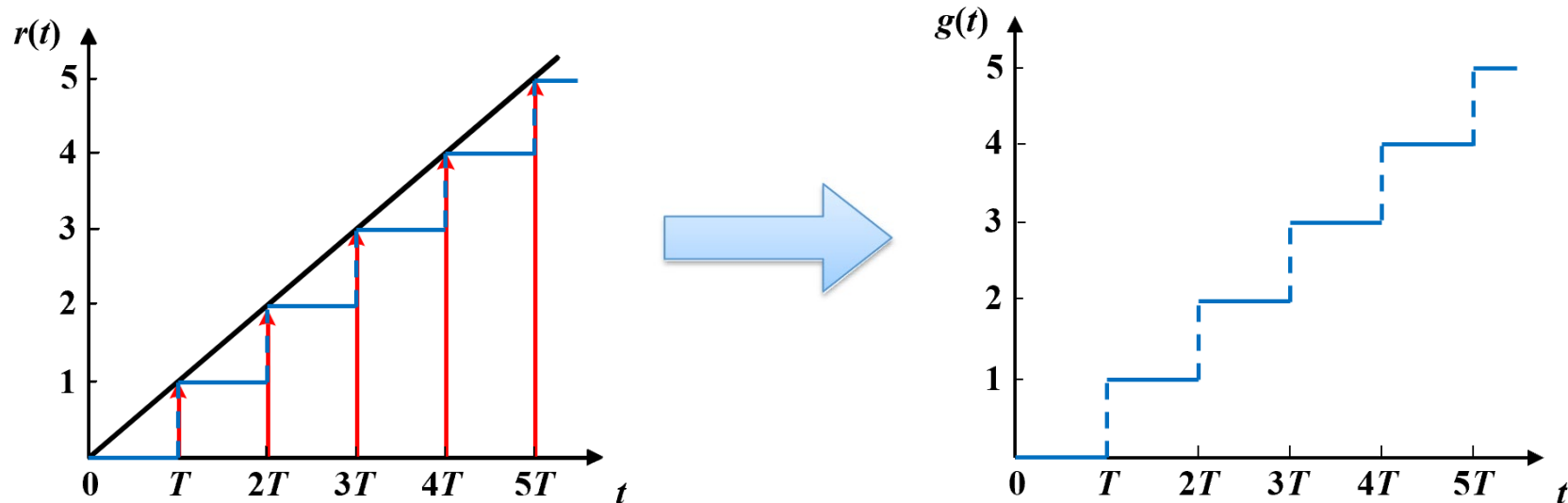
如果连续信号 $r(t)$ 具有有限频谱，其最高频率为 ω_{\max} ，则对 $r(t)$ 进行周期采样且采样频率 $\omega_s > 2\omega_{\max}$ 时，则可以从 $r^*(t)$ 无失真地恢复出连续信号。

信号保持



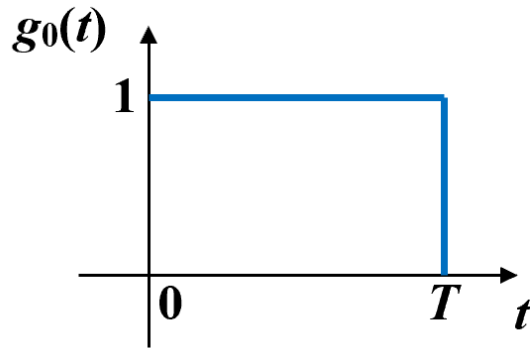
零阶保持器

信号保持

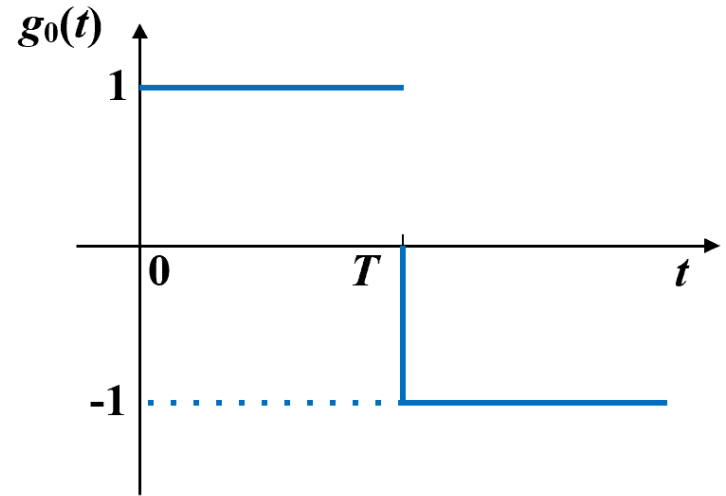


采样器和零阶保持器

信号保持



$$g_0(t) = 1(t) - 1(t - T)$$



零阶保持器的传递函数:

$$G_0(s) = \frac{1}{s} - \frac{1}{s} e^{-sT} = \frac{1 - e^{-sT}}{s}$$