

# 通信网络理论基础

盛 敏

Information Science Institute, Xidian University

[Msheng@mail.xidian.edu.cn](mailto:Msheng@mail.xidian.edu.cn)

<http://pcn.xidian.edu.cn/msheng/>

# 第一章

- 通信网络的基本构成
- 分组交换的三个基本过程
- 协议体系结构

# 第二章

- 组帧技术
- 链路层的差错控制技术
- 最佳帧长
- 标准数据链路控制协议及其初始化
- 网络层和运输层的点对点传输协议

# 组帧技术

- 面向字符的组帧技术
- 面向比特的组帧技术
- 采用长度计数的组帧技术

# 差错检测

- 差错检测的基本目的和思想
- ARQ协议
  - 停等式ARQ
  - 返回 $n$ -ARQ
  - 选择重发式ARQ
  - 并行等待式ARQ

## ■ ARQ协议性能评估

- 算法（协议）的正确性
- 算法（协议）的有效性

# 最佳帧长

- 一个方面是在一条链路上使传输效率最高的最佳帧长。
- 另一个方面是在多条链路构成的传输路径上，使得传输效率最高的最佳帧长。

# 标准的数据链路控制协议

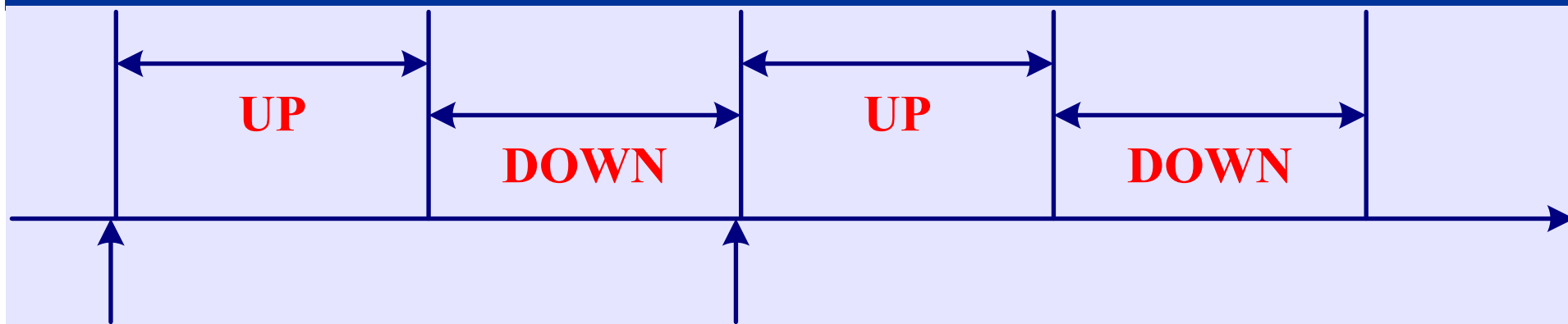
- 目前常用的标准数据链路控制（DLC）协议有：IBM提出的SDLC，ISO建议的HDLC，ANSI规定的ADCCP和CCITT建议的LAPB等。其中，HDLC与ADCCP功能相同，SDLC是HDLC的一个功能子集。LAPB也是HDLC的一个子集。
- HDLC（ADCCP）是为多种物理链路设计的。这些链路包括多址链路、点对多点链路、全双工和半双工链路。它包括三种工作模式：**正常响应模式（NRM）、异步响应模式（ARM）和异步平衡模式（ABM）。**



# 标准的数据链路控制协议

- 理解标准的链路控制协议，并可以根据实际情况设计某种可应用的链路层协议。

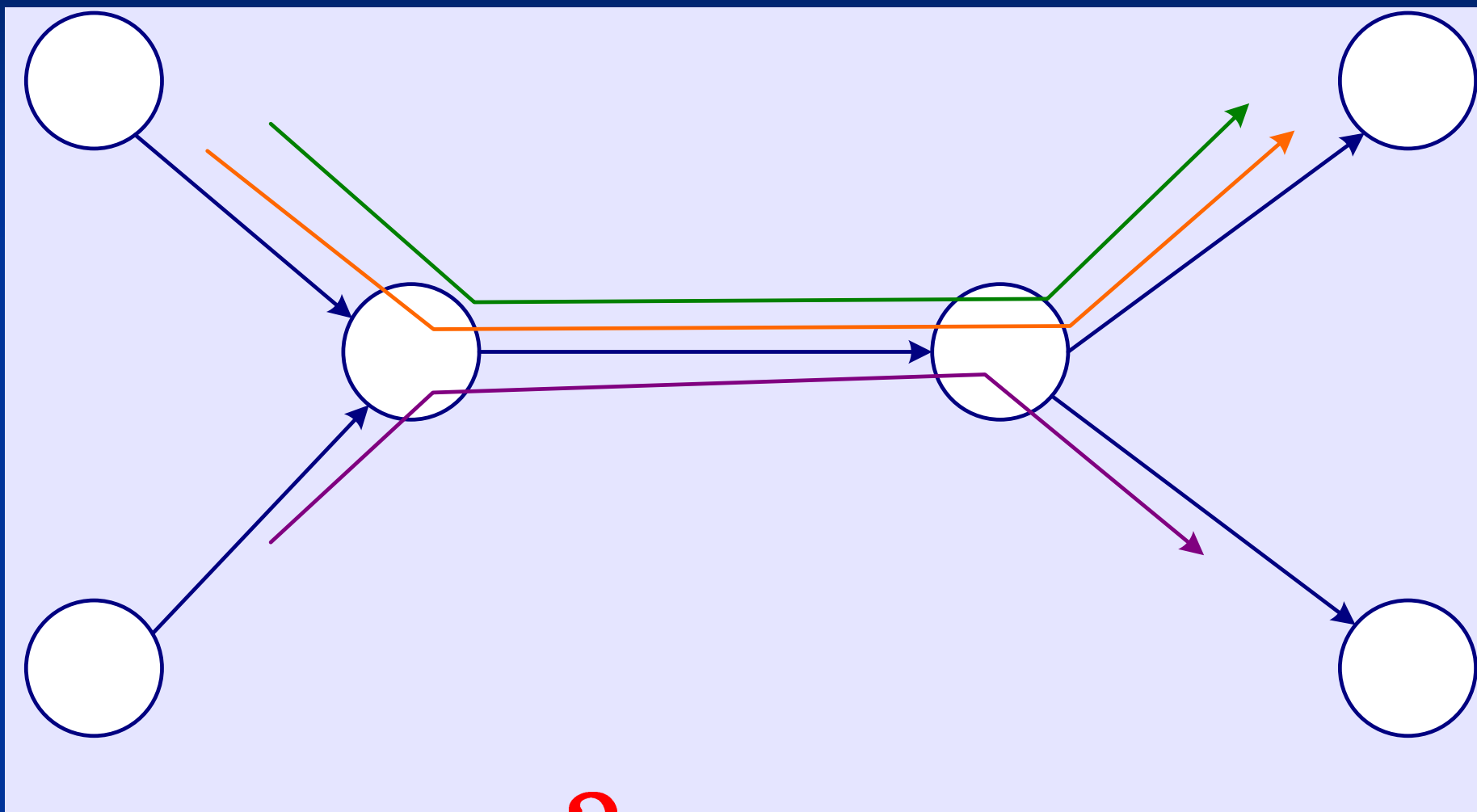
# 数据链路层协议的初始化



# 网络层（子网层）的点对点传输协议

- 对于网络中的一条链路而言，它通常被通过该链路的若干个会话过程所共享。也就是说，不同会话过程的分组要共享同一链路。如果要将装载在物理帧中的分组送达不同的目的地或区分来自不同源的分组，这就必须对不同会话过程的分组进行标识。

# 不同会话过程的标识方法



## 同一Session中的分组的标识或编号

- 在数据报方式中，同一Session分组可能会经过不同的路径，这样到达到目的节点的顺序就会不同于源节点发出分组的顺序，另外一方面分组在传输的过程中，因链路拥塞、传输错误、节点或链路故障等原因会引起分组丢失。因此，就必须提供一种方式来使目的节点发现上述问题。解决方法就是对同一Session发送的分组进行编号。

# 网络层的差错控制

- 网络层的差错控制与数据链路层差错控制的主要差别

# 网络层的流量控制

- 目的节点如想减缓接收分组的速率，则可以将含有RN的应答分组适当延迟后再发送即可。这种控制信源速率的方法称为端到端流量控制。

# 运输层的点对点传输协议

- TCP中的寻址和复接
- TCP中的差错控制
- TCP的流量控制
  - 在TCP中采用了慢启动（slow-start）、拥塞避免（congestion avoidance）和加速递减等技术来进行拥塞控制。



## 第二章

- 本章主要讨论了端对端的传输协议，它涉及到两种类型链路的可靠数据传输：一是在一条物理链路上如何进行有效和可靠的数据传输，二是针对跨越多条物理链路或多个网络的一条等效的链路之间如何进行可靠的数据传输。

# 第二章

- 它要解决的基本问题是：
  - 将不可靠的链路变成一条可靠的链路
  - 如何保证在各种异常情况下，收发双方协同工作
  - 如何进行流量控制

# 第三章 网络的时延模型

- 衡量网络传输能力的重要指标之一是将一个分组从源节点传到目的节点的时延。对时延的考虑将会影响网络算法和协议（如多址协议、路由算法、流控算法等）的选择。因此，我们必须了解网络时延的特征和机制，以及网络时延取决于哪些网络特征。

# 网络的时延模型

- 网络中的时延通常包括四个部分：处理时延、排队时延、传输时延和传播时延。

# Little定理

- $N$ 、 $\lambda$ 、 $T$ 的相互关系是：

$$N = \lambda T$$

- 这就是Little定理（公式）。该公式表明：系统中的用户数（顾客数） = [用户（顾客）的平均到达率] × [用户（顾客）的平均时延]。

# Little定理的应用

# Basic Queue Theory

Kendall's Notation for Queues

$A/B/C/D/E$

- |   |   |   |   |       |                     |
|---|---|---|---|-------|---------------------|
| A | Inter-arrival time distribution   | } | → | M     | exponential         |
| B | Service time distribution   |   |   | $E_k$ | Erlangian (order k) |
| C | Number of servers   |   |   | G     | general             |
| D | Maximum number of jobs that can be there in the system (waiting and in service) |   |   |       |                     |

M exponential  
D deterministic  
 $E_k$  Erlangian (order k)  
G general

*Default  $\infty$  for infinite number of waiting positions*

- E Queueing Discipline (FCFS, LCFS, SIRO etc.)

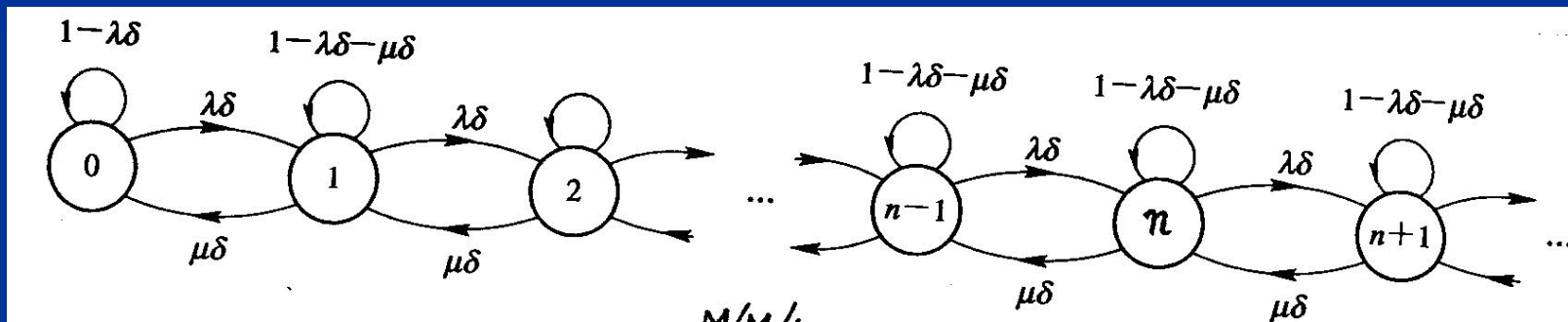
*Default is FCFS*

M/M/1 or M/M/1/ $\infty$  Single server queue with Poisson arrivals, exponentially distributed service times and infinite number of waiting positions

# M/M/m型排队系统

## ■ M/M/1排队系统

### ■ 状态转移特性及其稳态分布



$$T = \frac{N}{\lambda} = \frac{\rho}{1-\rho} \cdot \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

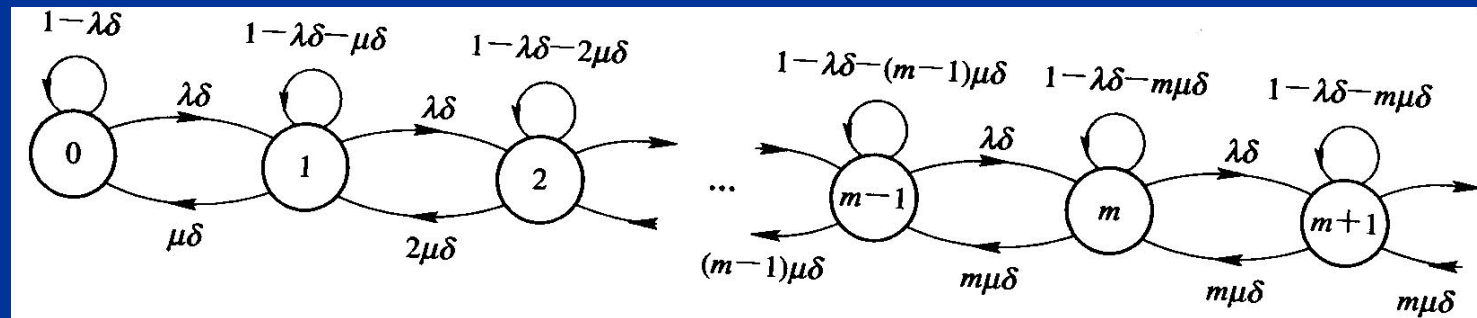
$$W = T - \frac{1}{\mu} = \frac{\lambda}{\mu} \cdot \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)}$$

$$N_Q = \lambda W = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{\lambda}{\mu} \cdot \frac{\rho}{1-\rho}$$



# M/M/m型排队系统

- M/M/m排队系统



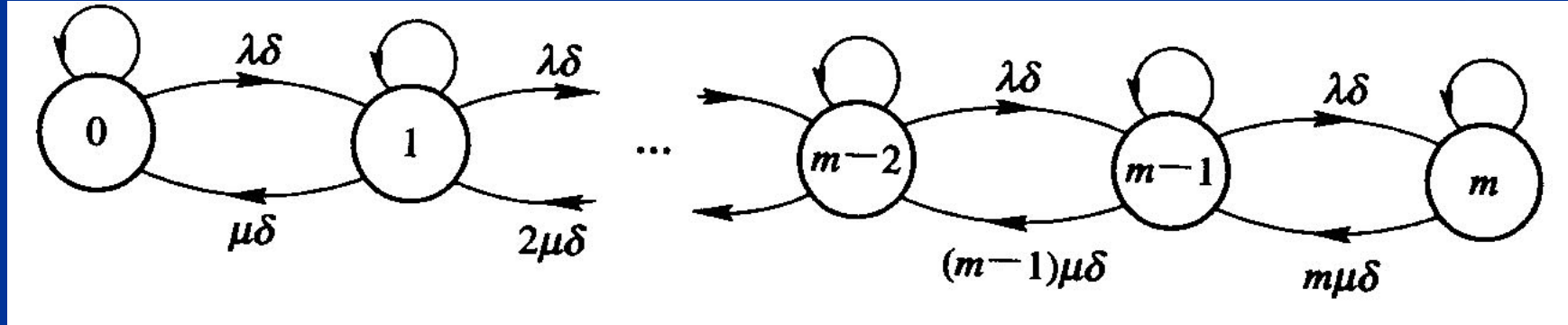
# M/M/m型排队系统

- M/M/∞排队系统
- 对于M/M/∞排队系统，由于该系统是一个没有排队的系统，所以其排队队长为0。
- 因而系统中的平均用户数为

$$N = \frac{\lambda}{\mu}$$

# M/M/m型排队系统

- M/M/m/m排队系统
- 对于M/M/m/m排队系统，系统中的容量为 $m$ 。当用户进入系统时，发现 $m$ 个服务员全忙时，就立刻离开系统（或丢失）。这种情况主要用于电路交换系统。比如，当我们打长途电话时，假定仅有 $m$ 条线路可用，如果我们发现线路全忙，我们就会过一会再打或以后再打，这就相当于我们离开系统。这是一种呼损制系统，而不像M/M/m是一个等待制系统。



# M/G/1型排队系统

- P-K公式

$$W = \frac{\overline{\lambda X^2}}{2(1-\rho)}$$

- 证明和应用

# 服务员有休假的M/G/1排队模型

- 服务员有休假的M/G/1 (M/G/1 Queues with Vacations) 排队系统是指在每一个忙周期后 (分组传输结束后), 服务员需要休假 (休假对应于服务员 (通信节点) 要进行其它处理, 如存储数据、信令交换等), 在服务员休假期内到达的用户, 要等待服务员休假结束后, 才能被服务。如服务员休假期满后, 没有用户到达, 服务员进入另一个休假期。

# 采用不同服务规则的M/G/1排队系统

- 采用预约方式的M/G/1排队系统
  - 闸门型系统 (gated system)
  - 耗尽型系统 (exhaustive system)
  - 部分闸门型系统 (partially gated system)

# 多用户系统

- 对于多用户系统来说，与单用户的差别主要是新到达分组进入不同用户的队列（系统共有 $m$ 个队列）时，将会遇到不同数量的预约时隙数（服务休假次数）。设系统有 $m$ 个用户，当第 $i$ 个分组到达系统时正好是第 $l$ 个用户的预约传输期。如果第 $i$ 个分组属于 $l+1$ 个用户的队列，则它只会遇到一个预约分组的传输。如果第 $i$ 个分组属于第 $l-1$ 个用户的队列，则它会遇到 $m-1$ 个预约分组的传输。



# 服务受限的系统

- 所谓服务受限的系统是指只允许每个队列每次仅传输一个分组。
- 由于每次服务受限，本来可以在一次预约传输期中传输结束的分组，现在要经过若干个循环才能传输完毕。

# 具有优先级的排队系统

- 当一个分组正在传输，而有一个高优先级分组到达时，有两种处理方法：
  - 允许当前正在传输的分组传输结束后再传送高优先级的分组（称为非强插优先级，Nonpreemptive Priority）
  - 高优先级分组要中断当前低优先级分组的传输，待高优先级分组传输结束后，再接着传输低优先级的分组（该方法称为强插优先级，Preemptive Priority）。

# 排队网络

- Kleinrock独立性近似
- Burke定理
- Jackson定理

# 第四章 多址接入协议

- 所谓多址接入协议（Multiple Access Protocol）就是在一个网络中，解决多个用户如何高效共享一个物理链路资源的技术。

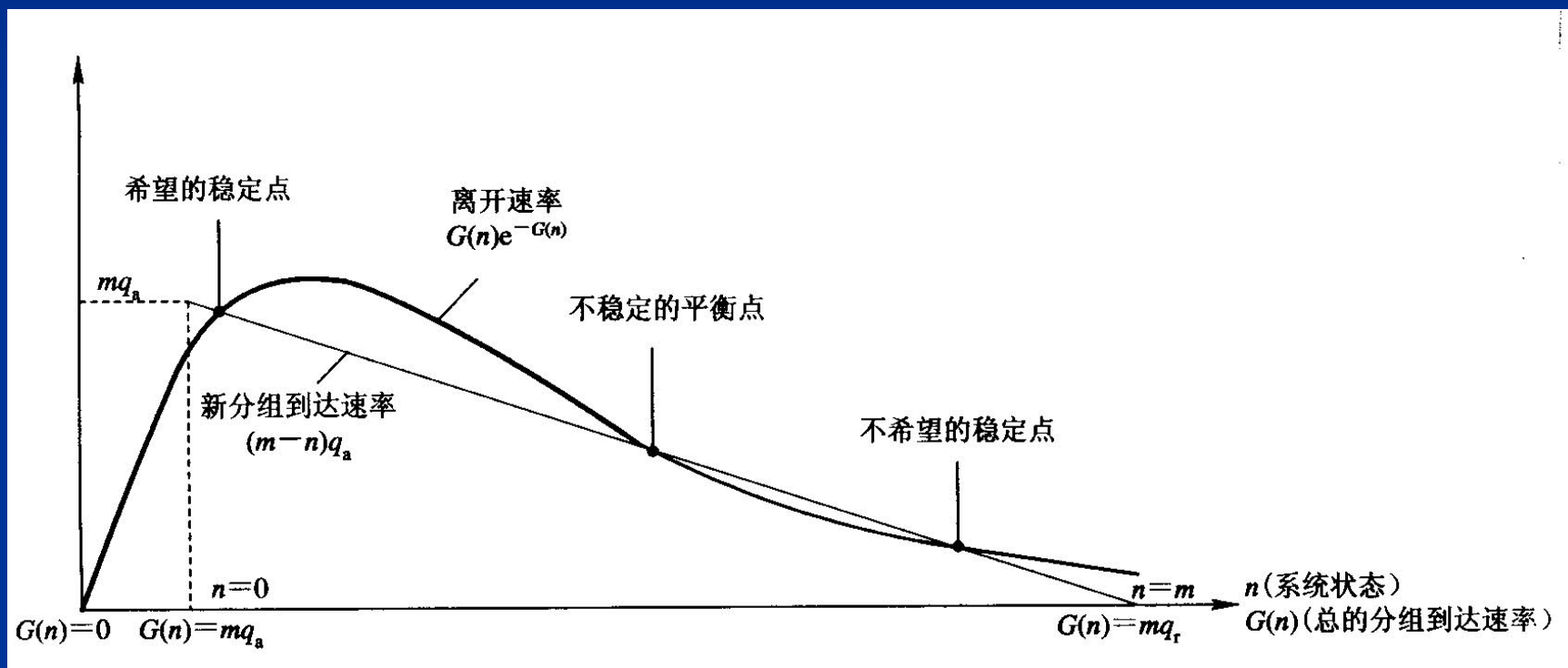
# 多址协议的分类

- 固定分配多址接入协议
- 随机分配多址接入协议
- 基于预约方式的多址接入协议

# ALOHA协议

- 纯ALOHA协议
- 时隙ALOHA协议
  - 系统的最大通过率

# 时隙ALOHA协议稳定性分析



# 稳定的时隙ALOHA协议—伪贝叶斯算法

- 所谓稳定的多址协议是指对于给定的到达率，多址协议可以保证每个分组的平均时延是有限的。或者说对于给定的到达率，系统是稳定的。我们将使系统稳定的到达率的最小上界称为系统的最大稳定通过率。



# 伪贝叶斯算法

- 伪贝叶斯算法的思路

# 载波侦听型多址协议

- 非时隙CSMA
- 时隙CSMA协议
  - 基本原理
  - 分析方法

# 稳定的时隙CSMA多址协议

- 基本原理

# CSMA/CD

- CSMA/CD的工作过程如下：当一个节点有分组到达时，它首先侦听信道，看信道是否空闲。如果信道空闲，则立即发送分组；如果信道忙，则连续侦听信道，直至信道空闲后立即发送分组。该节点在发送分组的同时，监测信道 $\delta$ 秒，以便确定本节点的分组是否与其它节点发生碰撞。
- CSMA/CD协议的性能

# CSMA/CA

- 基本原理
- 优缺点

# 冲突分解算法

- 冲突分解的基本思想是：如果系统发生碰撞，则让新到达的分组在系统外等待，在参与碰撞的分组均成功传输结束后，再让新分组传输。

# 冲突分解算法

- 树形分裂算法 (Tree Splitting Algorithm)
- 先到先服务 (FCFS Splitting Algorithm) 分裂算法
  - 工作原理
  - 性能分析

# 预约多址接入协议

- 基本原理和性能分析



# 分组无线电网

- 无冲突矢量集

# 第五章 路由协议

- 路由协议的基本功能
- 路由协议的分类

# 最小重量生成树

- 概念
- 构造
- 应用

# 最短路径路由算法

- B-F算法

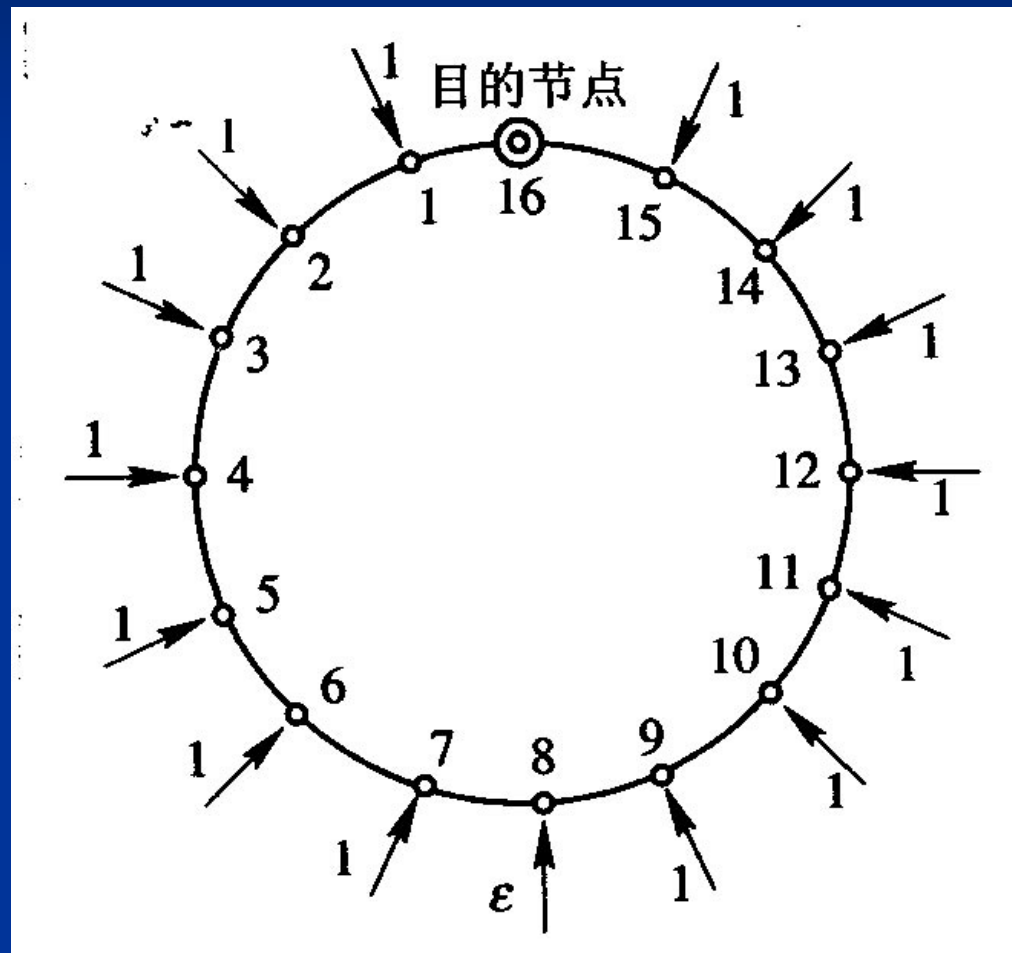
- 证明, 应用

- Dijkstra算法

- 应用

- Distance Vector Routing
- Link-State Routing

# 自适应最短路由的稳定性分析



# 路由信息的广播

- 网络中采用广播方式面临的主要问题，如何克服这些问题。