



# 计算机组成与系统结构

## 第六章 总线系统

吕昕晨

[lvxinchen@bupt.edu.cn](mailto:lvxinchen@bupt.edu.cn)

网络空间安全学院



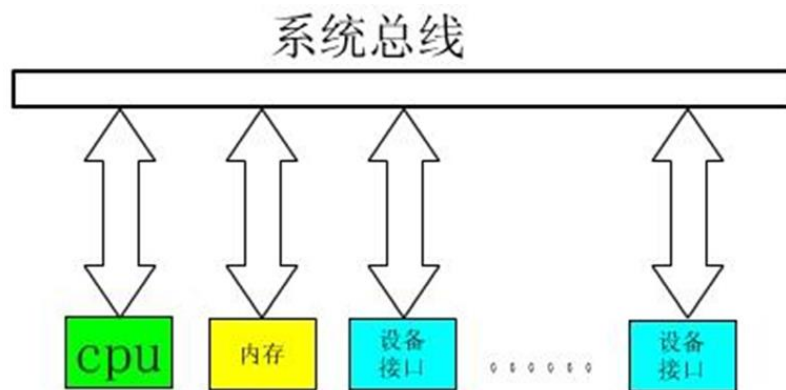
# 第六章 总线系统

- 总线的仲裁
  - 集中式仲裁
  - 分布式仲裁
- 总线的定时和数据传送模式
- HOST总线和PCI总线

# 总线的仲裁



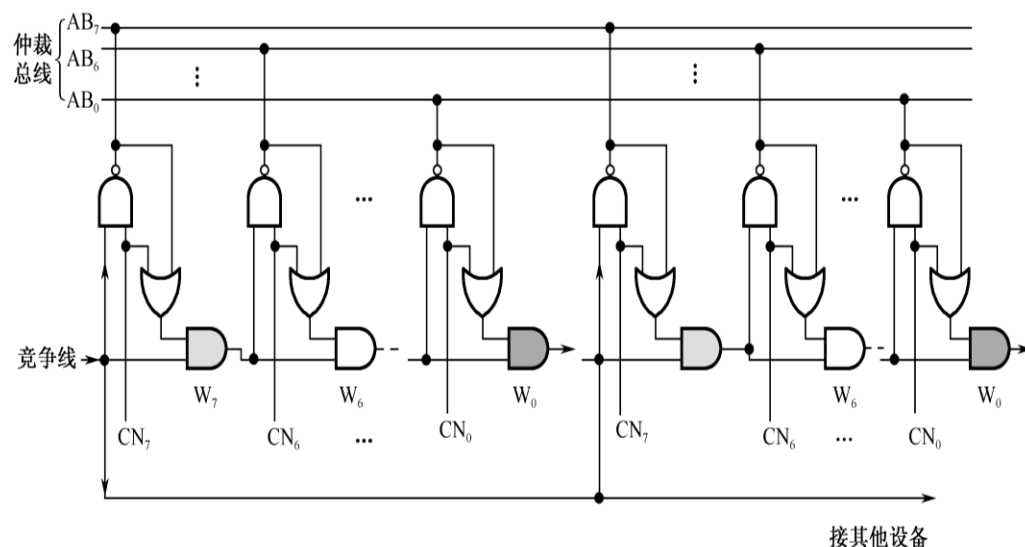
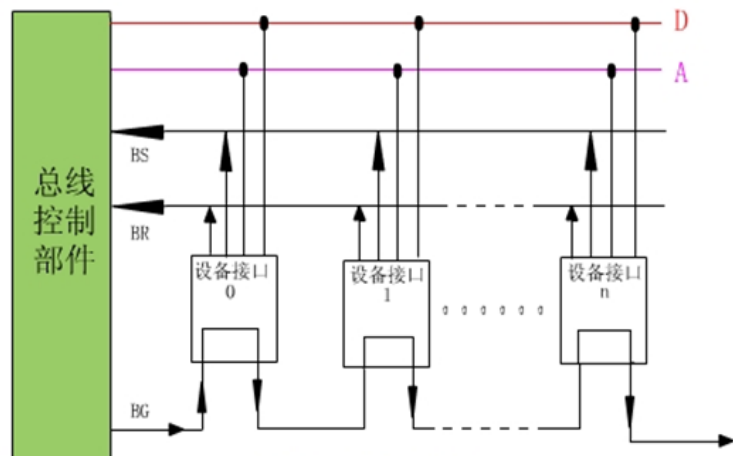
- 为什么需要总线仲裁？
  - 总线是**多个功能模块共用**的数据传输部件
  - 为了解决多个功能模块**争用总线**的问题，必须设置总线仲裁部件
- 总线传输方式
  - 连接到总线上的功能模块有**主动和被动两种形态**
  - **主方可以启动一个总线周期**，而从方只能响应主方请求每次总线操作，只能有一个**主方**，但是可以有多个**从方**

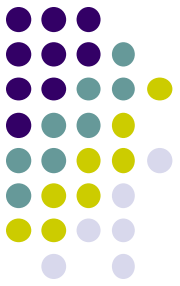


# 总线仲裁的分类



- **总线占用期**：主方持续控制总线的时间
- 如何确定由哪个部件占用总线——仲裁
- 按照总线仲裁电路的位置不同，仲裁方式分为
  - **集中式仲裁**：中央总线仲裁部件，请求与授权方式
  - **分布式仲裁**：不存在集中式仲裁部件，由各功能模块争用仲裁总线



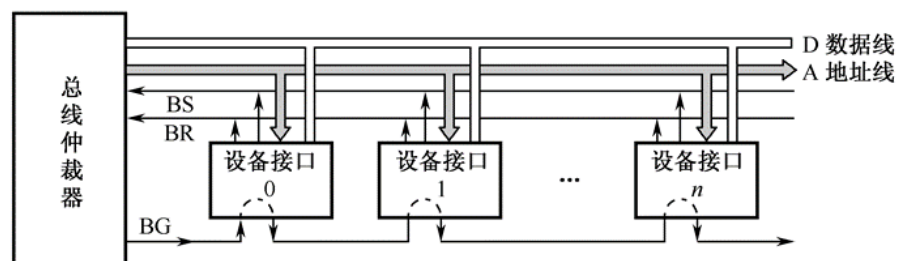


# 第六章 总线系统

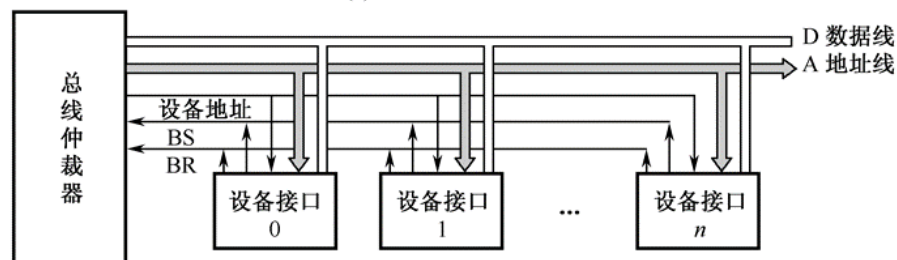
- 总线的仲裁
  - 集中式仲裁
  - 分布式仲裁
- 总线的定时和数据传送模式
- HOST总线和PCI总线

# 集中式仲裁

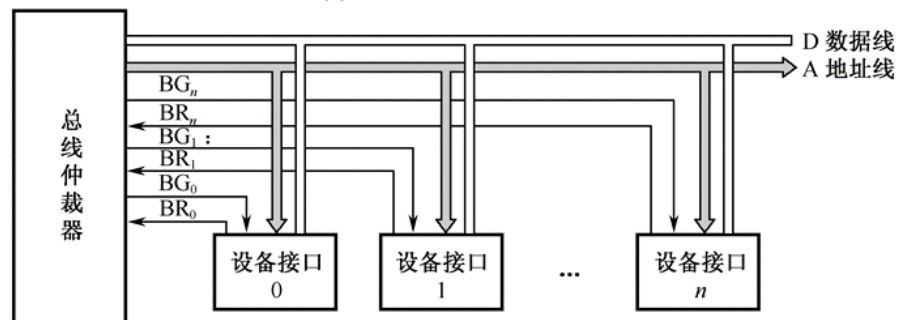
- 集中式仲裁
  - 通过总线仲裁部件确定由哪个设备占用总线
  - 总线请求—总线授权
    - BR (Bus Request)
    - BG (Bus Grant)
  - 总线仲裁器
    - 在单处理器系统中又称为总线控制器，是CPU的一部分，是一个单独功能模块



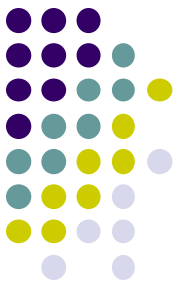
(a) 菊花链查询方式



(b) 计数器定时查询方式

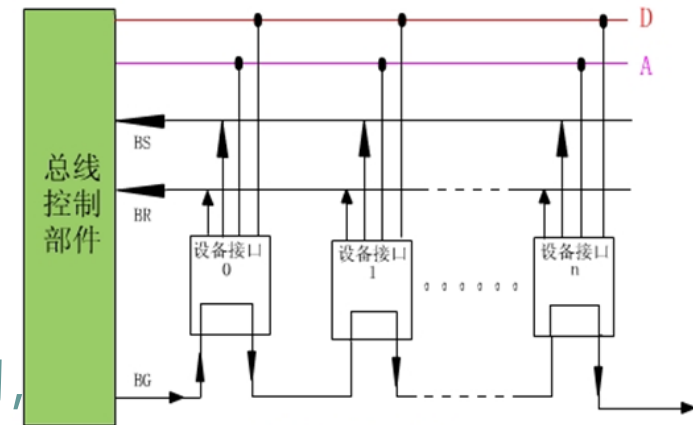


(c) 独立请求方式



# 集中式仲裁1——链式查询方式

- 组成结构
  - A表示地址线，D表示数据线
  - 总线占用状态
    - $BS=1$ ，表示总线正被占用
  - 总线链式查询与反馈
    - 授权：BG线；请求：BR线
- 查询方式
  - 收到总线请求，BG线顺序进行查询，若有总线请求，则不再向下查询
  - 该设备占用总线进行传输
- 实现
  - 利用与/或逻辑门屏蔽功能，参考带符号乘法器中对2求补电路



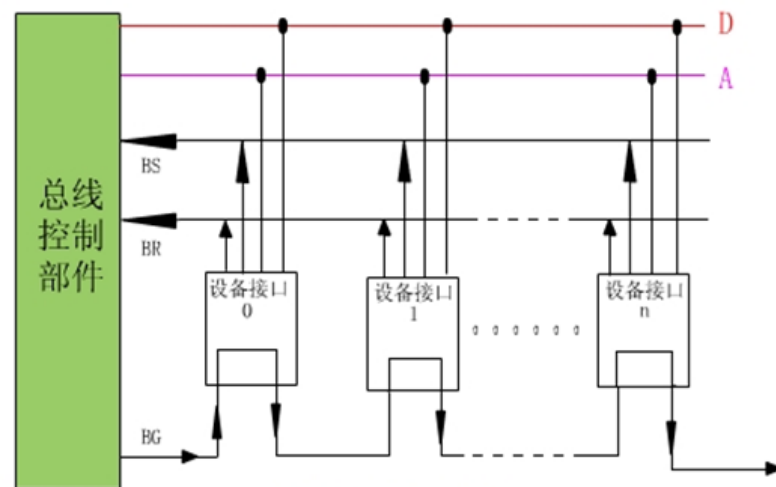
(a) 链式查询方式

图6.9 集中式总线仲裁方式

# 集中式仲裁1——链式查询方式



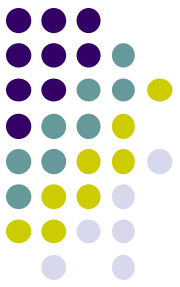
- 链式查询方式特点
  - 离中央仲裁器最近的设备具有最高优先权；离总线控制器越远，优先权越低
- 优点
  - 只用很少几根线就能按一定优先次序实现总线控制，并且这种链式结构很容易扩充设备
- 缺点
  - 对询问链的电路故障很敏感，优先级固定



(a) 链式查询方式

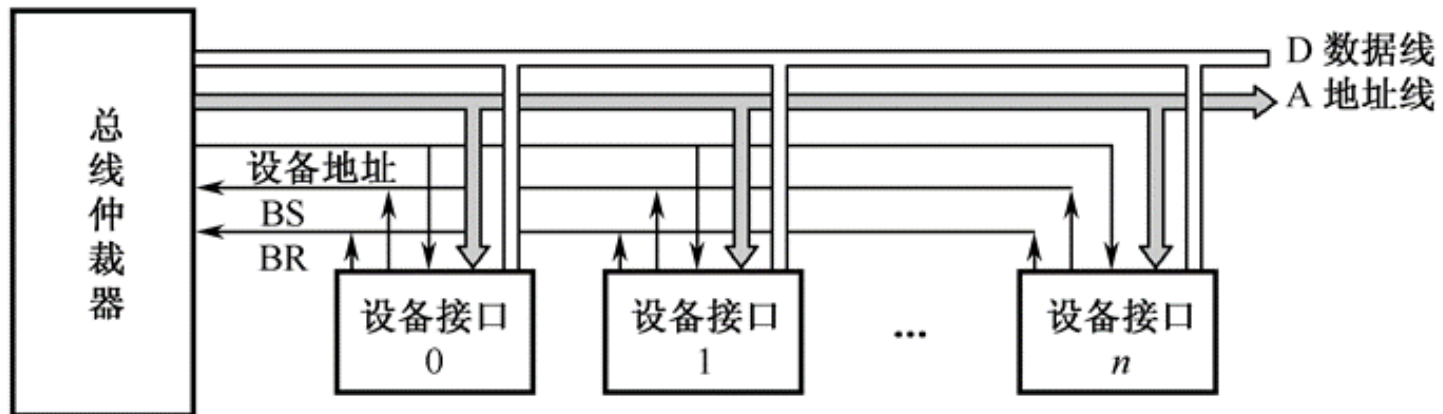
图6.9 集中式总线仲裁方式

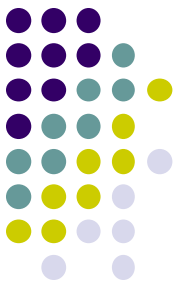




# 集中式仲裁2——计数器定时方式

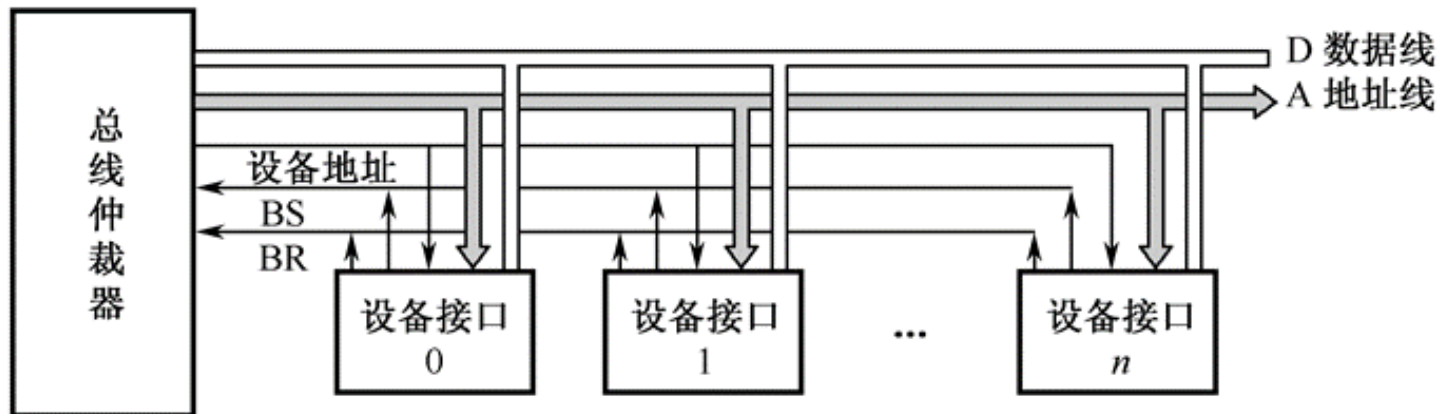
- 组成结构
  - 相比链式查询结构，将授权BG线替换为设备地址线
- 查询方式
  - 任一设备要求使用总线时，通过BR线发出总线请求
  - 中央仲裁器接到请求信号以后，在BS线为0的情况下让计数器开始计数，计数值通过一组地址线发向各设备
  - 每个设备地址判别电路，当地址线上的计数值与请求总线的设备地址相一致时，该设备置BS线为1，占用总线





# 集中式仲裁2——计数器定时方式

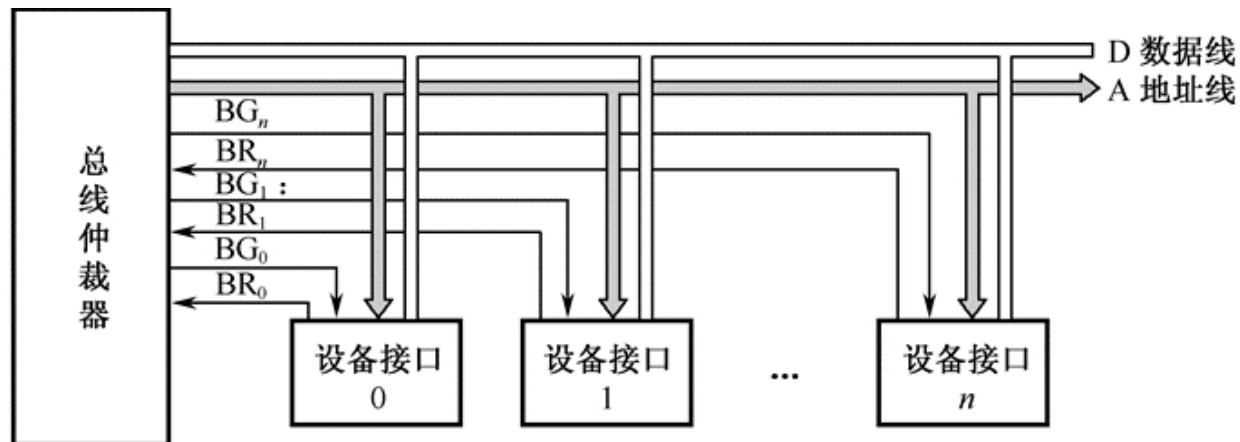
- 计数值设置
  - 每次计数可以从0开始，也可以从上次中止点开始
  - 如果从0开始，各设备的优先次序与链式查询法相同，优先级的顺序是固定的。如果从中止点开始，则每个设备使用总线的优级相等。
- 特点
  - 计数器的初值也可用程序来设置，可以改变优先次序
  - 查询需由总线仲裁器发出递增的设备地址，效率较低

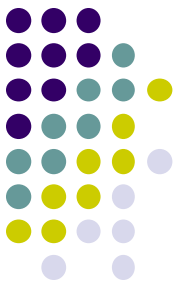




# 集中式仲裁3——独立请求方式

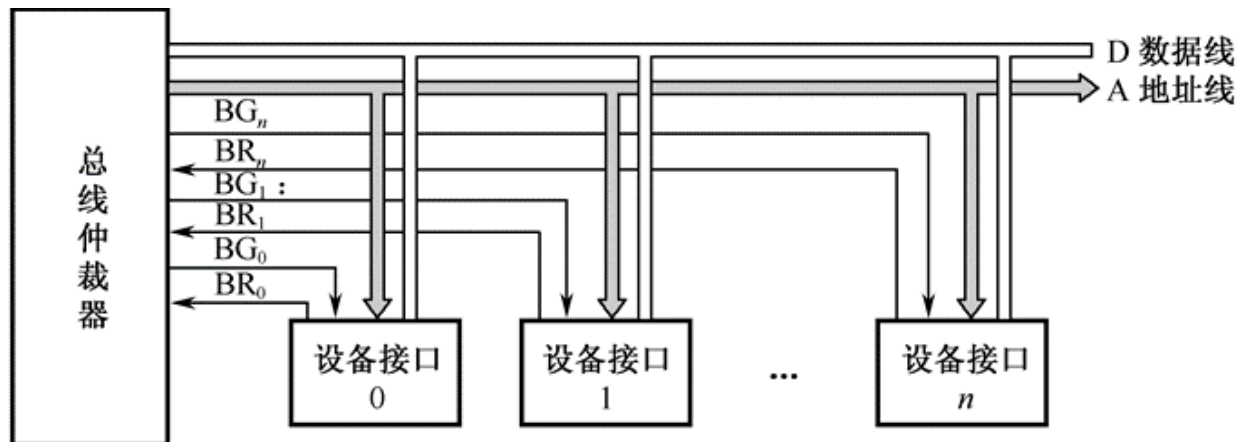
- 组成结构
  - 每个设备有独立的总线请求 $BR_i$ 与总线授权 $BG_i$ 线
- 查询方式
  - 设备根据需求发出总线请求信号 $BR_i$
  - 总线仲裁器中有一个排队电路，根据一定的优先次序决定首先响应哪个设备的请求，给设备以授权信号 $BG_i$
  - 设备收到授权信号后占用总线

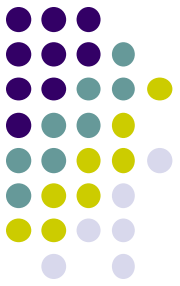




# 集中式仲裁3——独立请求方式

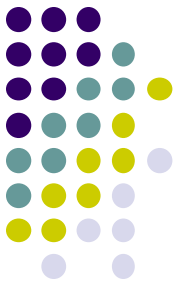
- 特点
  - 不需要顺序进行查询，确定优先响应所花费的时间少，响应时间快
  - 优先次序的控制相当灵活
    - 可以预先固定，例如BR0优先级最高，BR1次之...BRn最低
    - 也可以通过程序来改变优先次序
    - 还可以用屏蔽某个请求的办法，不响应来自无效设备的请求
  - 当代总线标准普遍采用独立请求方式





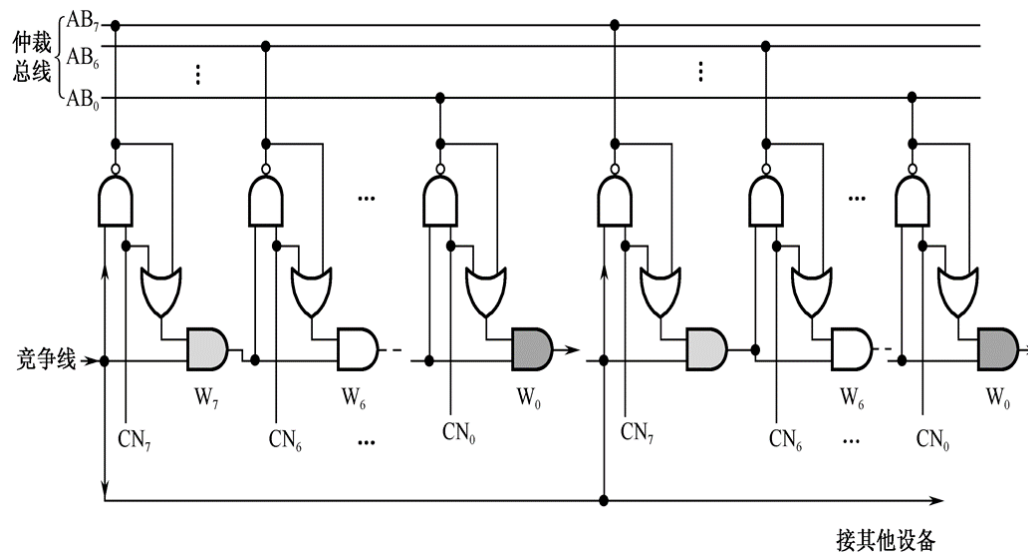
# 第六章 总线系统

- 总线的仲裁
  - 集中式仲裁
  - 分布式仲裁
- 总线的定时和数据传送模式
- HOST总线和PCI总线



# 分布式仲裁基本思路

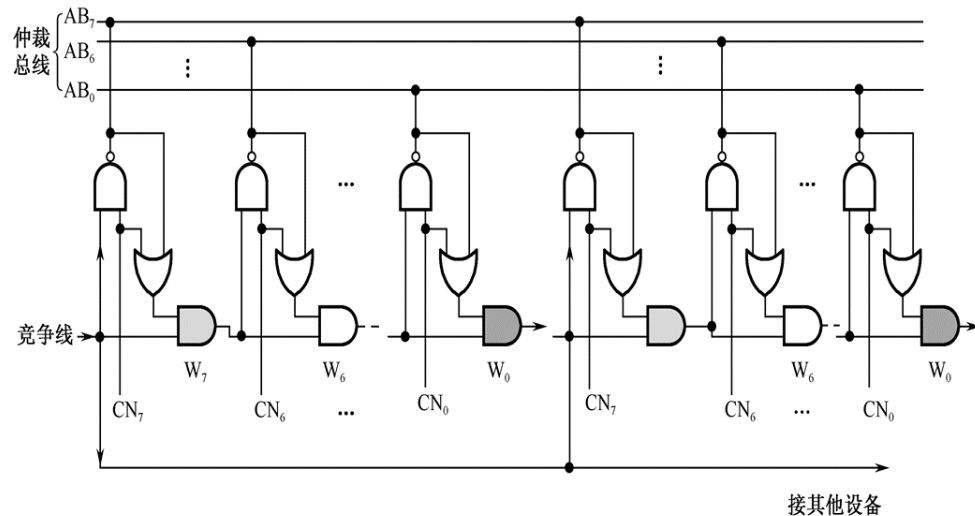
- 不需要中央仲裁器，而是多个仲裁器竞争使用总线
- 当它们有总线请求时，把它们唯一的仲裁号发送到共享的仲裁总线上，每个仲裁器将仲裁总线上得到的号与自己的号进行比较。如果仲裁总线上的号大，则它的总线请求不予响应，并撤消它的仲裁号（优先级比较）
- 最后，获胜者的仲裁号保留在仲裁总线上





# 分布式仲裁实现

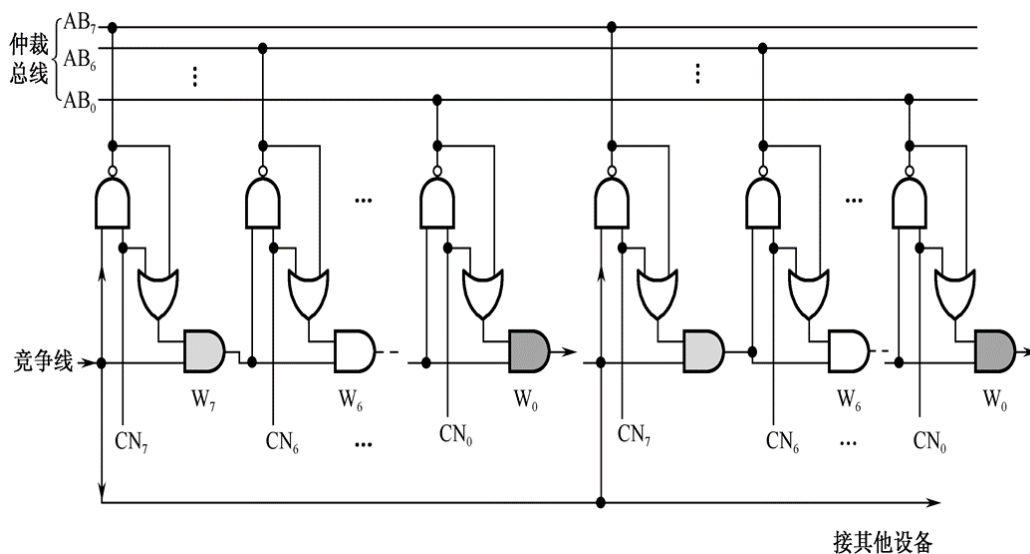
- 所有参与本次竞争的各主设备将设备竞争号CN取反打到仲裁总线AB上，实现“线或”逻辑；AB线低电平时表示至少有一个主设备的 $CN_i$ 为1，AB线高电平时表示所有主设备的 $CN_i$ 为0
- 竞争时CN与AB逐位比较，从最高位（b7）至最低位（b0）以一维菊花链方式进行，只有上一位竞争得胜者 $W_{i+1}$ 位为1。
- 当 $CN_i=1$ ，或 $CN_i=0$ 且 $AB_i$ 为高电平时，才使 $W_i$ 位为1；若 $W_i=0$ 时，将一直向上传递，使其竞争号后面的低位不能送上AB线。



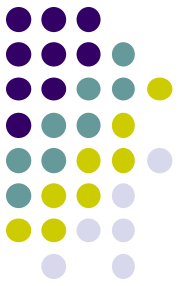
# 分布式仲裁实现



- 竞争不到的设备自动撤除其竞争号。在竞争期间，由于W位输入的作用，各设备在其内部的CN线上保留其竞争号并不破坏AB线上的信息。
- 由于参加竞争的各设备速度不一致，这个比较过程反复（自动）进行，才有最后稳定的结果。竞争期的时间要足够，保证最慢的设备也能参与竞争。







# 第六章 总线系统

- 总线的仲裁
- 总线的定时和数据传送模式
  - 总线的定时
  - 总线数据传送模式
- HOST总线和PCI总线



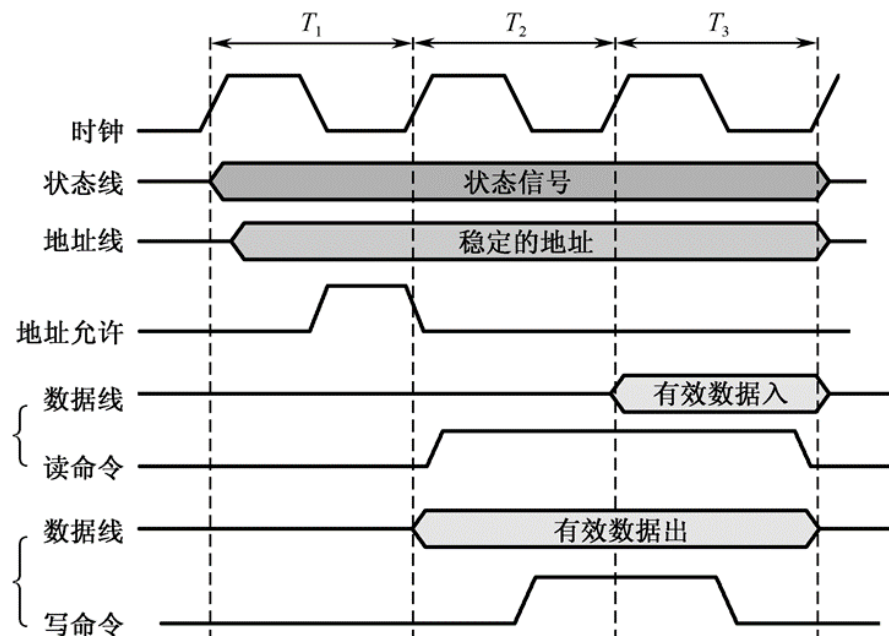
# 总线的定时

- 总线的一次信息传送过程，大致可分为如下五个阶段
  - 请求总线
  - 总线仲裁
  - 寻址（目的地址）
  - 信息传送
  - 状态返回（或错误报告）
- 为了同步主方、从方的操作，必须制订定时协定
- 定时：事件出现在总线上的时序关系
- 数据传送中常用定时方式
  - 同步定时
  - 异步定时

# 同步定时



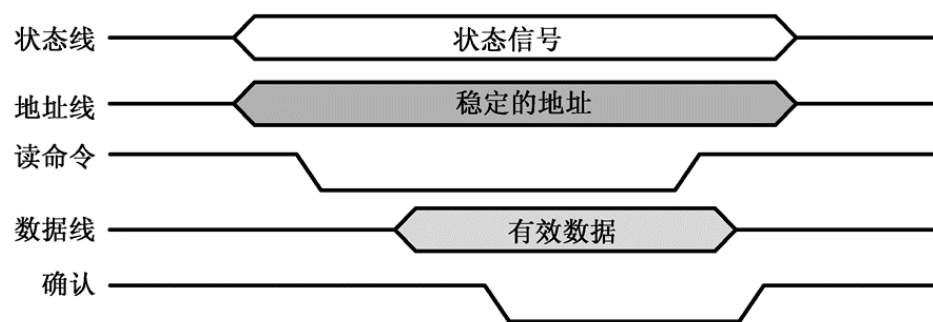
- 事件出现在总线时刻由**总线时钟信号**决定，**总线包含时钟信号线**
- 时序特点
  - 事件出现在时钟信号上升沿
  - 大多数只占单一时钟周期<sub>读周期</sub>
- 优点
  - 采用公共时钟，**效率较高**<sub>写周期</sub>
  - 适用于传输距离较短，各模块存取时间相对比较接近



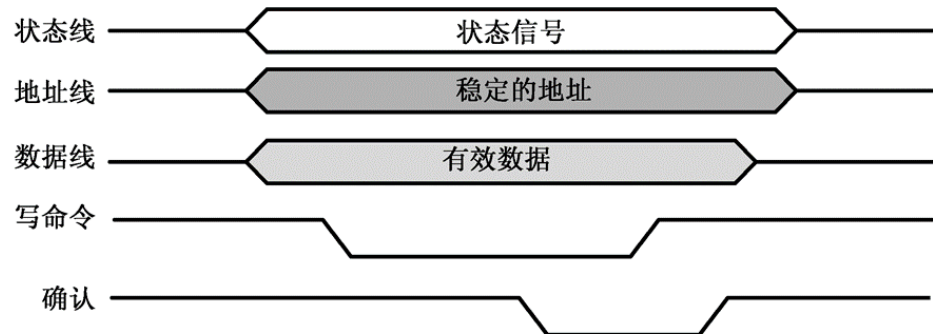
# 异步定时



- 事件出现在总线时刻由**前一事件**的出现决定，即**基于应答式/互锁机制**
- 不需要统一的公共时钟信号
- 特点
  - 应答式机制中，需等待确认信号有效后，才能撤销数据
- 优点
  - 总线周期长度可变，允许快速和慢速模块都能连接到同一总线上



(a) 系统总线读周期



(b) 系统总线写周期

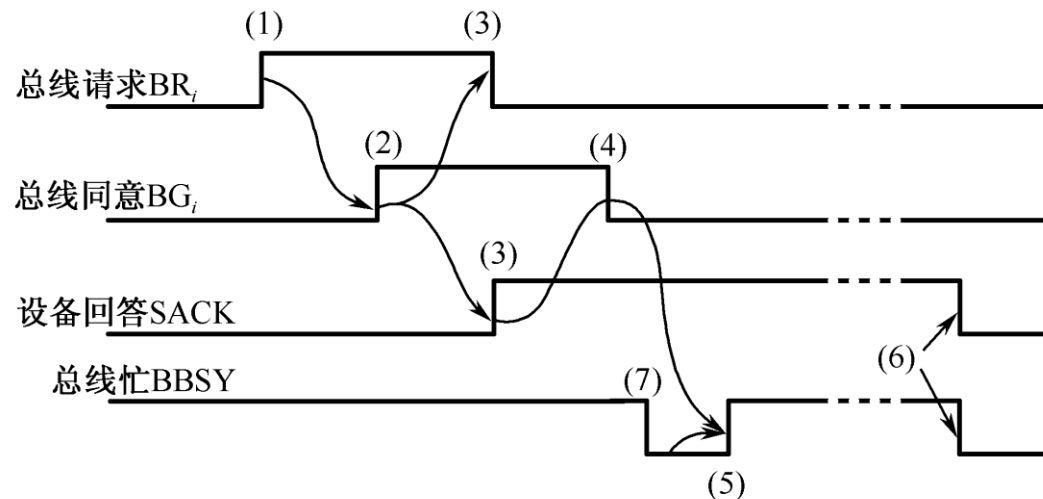


【例3】某CPU采用集中式仲裁方式，使用独立请求与菊花链查询相结合的二维总线控制结构。

每一对请求线 $BR_i$ 和授权线 $BG_i$ 组成一对菊花链查询电路。每一根请求线可以被若干个传输速率接近的设备共享。

当这些设备要求传送时通过 $BR_i$ 线向仲裁器发出请求，对应的 $BG_i$ 线则串行查询每个设备，从而确定哪个设备享有总线控制权。

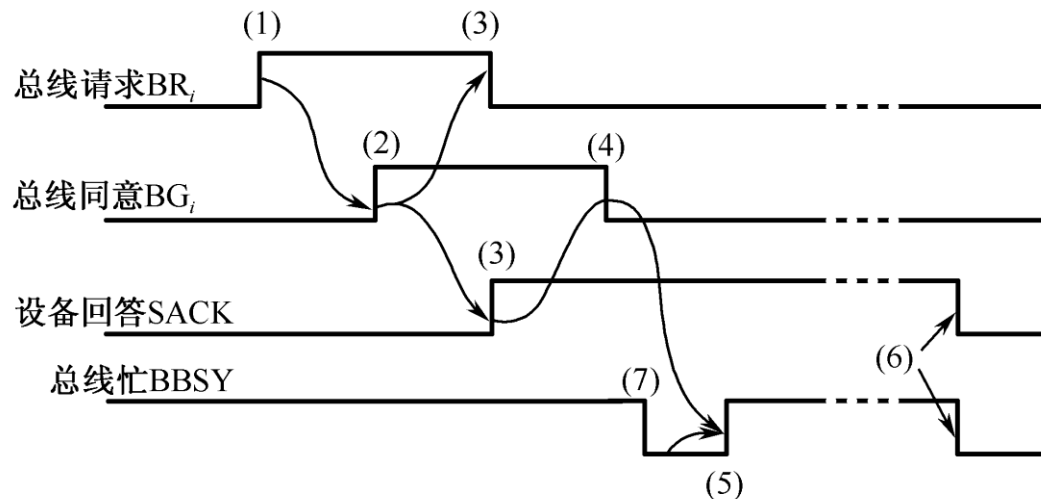
请分析说明图6.14所示的总线仲裁时序图。





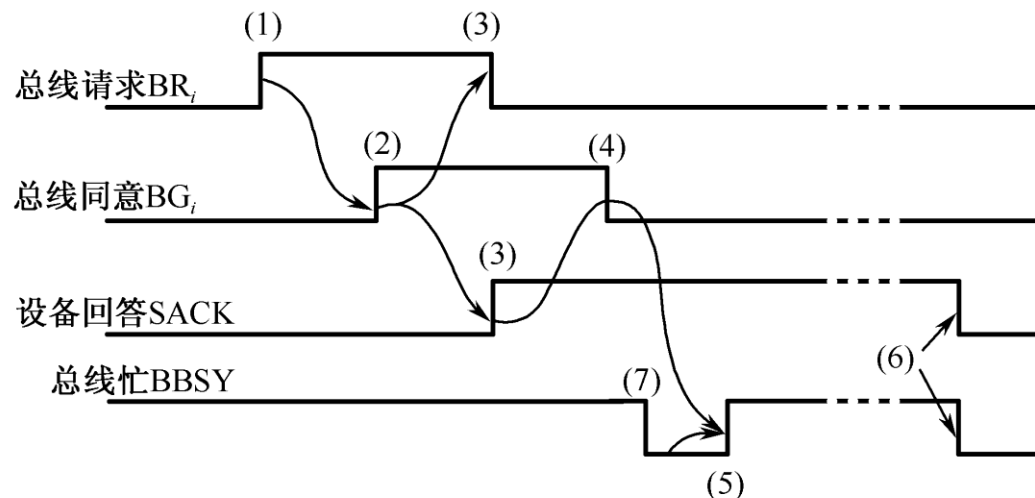
解：从时序图看出，该总线采用异步定时协议。

- 当某个设备请求使用总线时，在该设备所属的请求线上发出申请信号 $BR_i$  (1)。
- CPU按优先原则同意后给出授权信号 $BG_i$ 作为回答 (2)。
- $BG_i$ 链式查询各设备，并上升从设备回答SACK信号证实已收到 $BG_i$ 信号 (3)。
- CPU接到SACK信号后下降 $BG$ 作为回答 (4)。





- 在总线“忙”标志BBSY为“0”情况该设备上升BBSY，表示该设备获得了总线控制权，成为控制总线的主设备（5）。
- 在设备用完总线后，下降BBSY和SACK（6）
- 释放总线。
- 在上述选择主设备过程中，可能现行的主从设备正在进行传送。此时需等待现行传送结束，即现行主设备下降BBSY信号后（7），新的主设备才能上升BBSY，获得总线控制权。

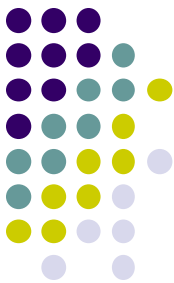




# 第六章 总线系统

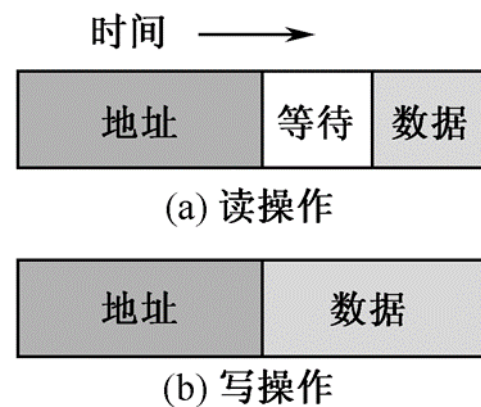
- 总线的仲裁
- 总线的定时和数据传送模式
  - 总线的定时
  - 总线数据传送模式
- HOST总线和PCI总线

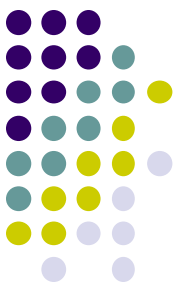




# 读、写操作

- 读操作是由从方到主方的数据传送；  
写操作是由主方到从方的数据传送。
- 读写传输过程
  - 主方先以一个总线周期发出命令和从方地址，经过一定的延时再开始数据传送总线周期。
  - 为了提高总线利用率，减少延时损失，主方完成寻址总线周期后可让出总线控制权。然后再重新竞争总线，完成数据传送总线周期。



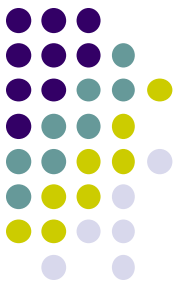


# 块传送操作

- 块传送操作
  - 只需给出块的起始地址，然后对固定块长度的数据一个接一个地读出或写入
  - 对于CPU（主方）存储器（从方）而言的块传送，常称为猝发式传送，其块长一般固定为数据线宽度（存储器字长）的4倍
  - 例如一个64位数据线的总线，一次猝发式传送可达256位。这在超标量流水中十分有用

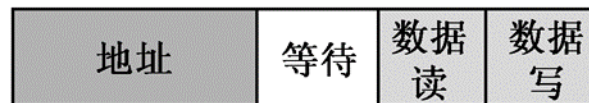


(c) 成块数据传送

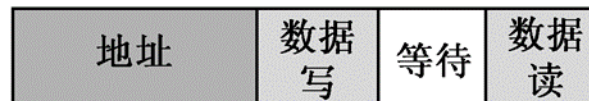


# 写后读、读修改写操作

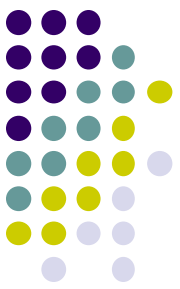
- 这是两种**组合操作**。只给出地址一次（表示同一地址），或进行**先写后读操作**，或进行**先读后写操作**。
- 前者用于校验目的，后者用于多道程序系统中对共享存储资源的保护。
- 这两种操作和猝发式操作一样，主方掌管总线直到整个操作完成。



(d) 读-修改-写操作

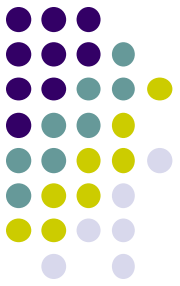


(e) 写后读操作



# 广播、广集操作

- 广播、广集操作
  - 一般而言，数据传送只在一个主方和一个从方之间进行
  - 但有的总线允许一个主方对多个从方进行写操作，这种操作称为广播
  - 与广播相反的操作称为广集，它将选定的多个从方数据在总线上完成AND或OR操作，用以检测多个中断源

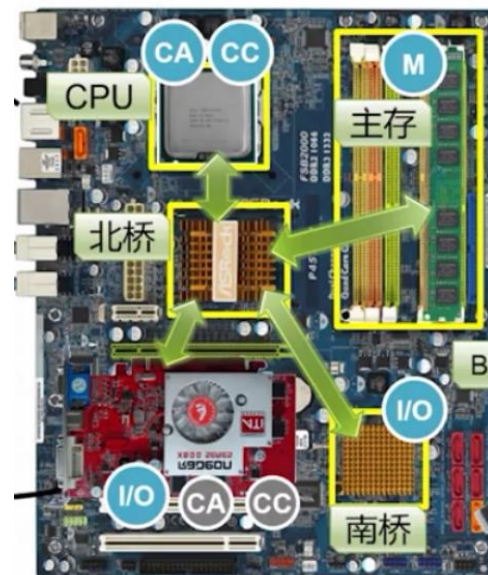
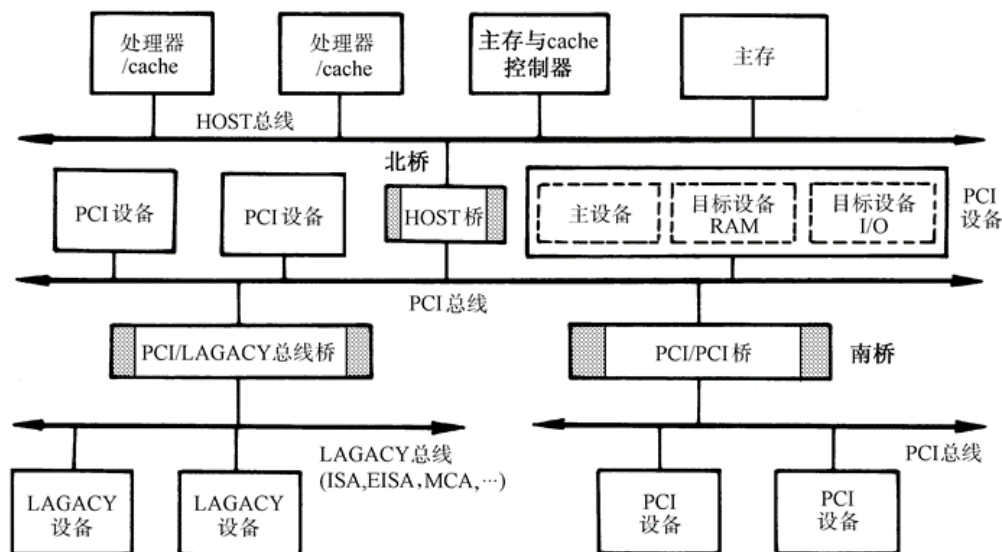


# 第六章 总线系统

- 总线的仲裁
- 总线的定时和数据传送模式
- HOST总线和PCI总线
  - 多总线结构
  - PCI总线与InfiniBand标准

# 多总线结构

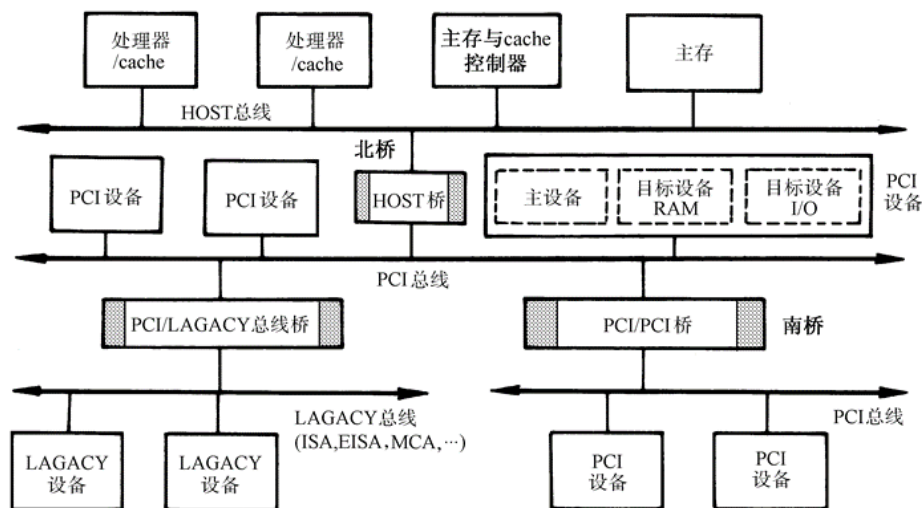
- 下面典型的多总线结构框图。实际上，这也是高档PC机和服务器的主板总线框图。



# HOST总线

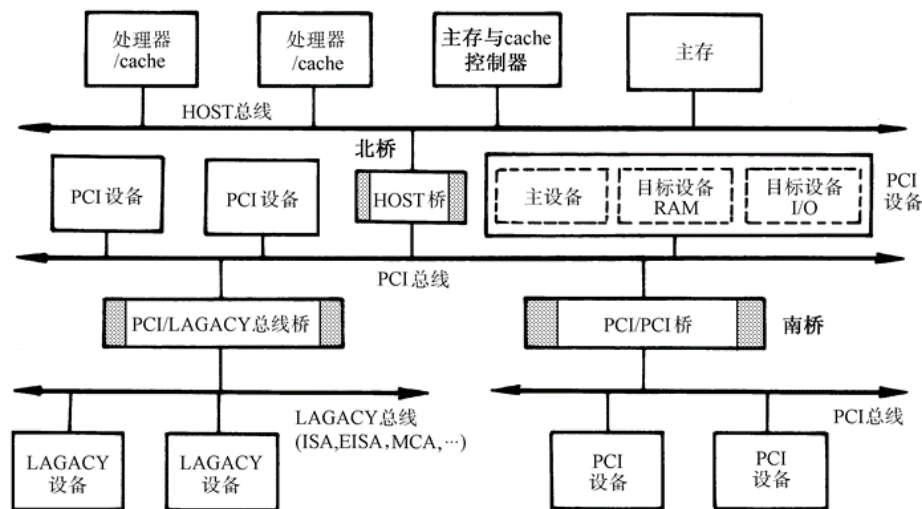
- HOST总线

- 有CPU总线、系统总线、主存总线、前端总线等多种名称，HOST总线不仅连接主存，还可以连接多个CPU。
- 连接北桥芯片与CPU之间的信息通路，它是一个64位数据线和32位地址线的同步总线。32位的地址线可支持处理器4GB的存储寻址空间。
- CPU拥有HOST总线的控制权，但在必要时可放弃总线控制权。



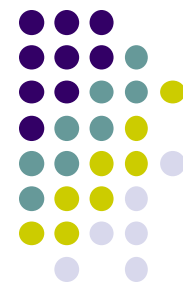
# PCI总线

- PCI是连接各种高速的PCI设备，并与处理器无关的高速外围总线，又是至关重要的层间总线。它采用同步时序协议和集中式仲裁策略，并具有自动配置能力。
- PCI设备可以是主设备，也可以是从设备，或兼而有之。在PCI设备中不存在DMA（直接存储器传送）的概念，这是因为PCI总线支持无限的猝发式传送。传统总线上用DMA方式工作的设备移植到PCI总线上时，采用主设备工作方式即可。

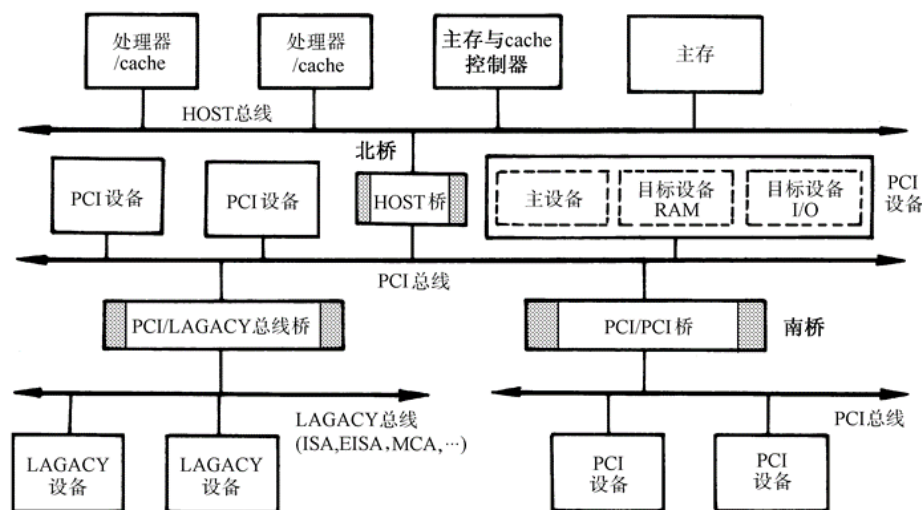




# LAGACY总线



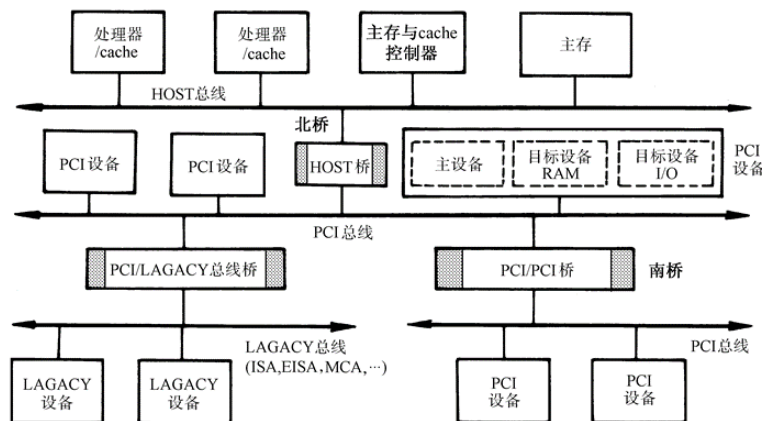
- 可以是ISA, EISA, MCA等这类性能较低的传统总线, 以便充分利用市场上丰富的适配器卡, 支持中、低速I/O设备。



# 桥



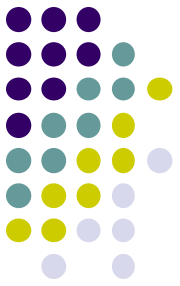
- 在PCI总线体系结构中有三种桥（HOST桥、PCI-LAGACY桥、PCI-PCI桥）。
- HOST桥是PCI总线控制器，含有中央仲裁器。桥起着重要的作用，它连接两条总线，使彼此间相互通信。桥又是一个总线转换部件，可以把一条总线的地址空间映射到另一条总线的地址空间上，从而使系统中任意一个总线主设备都能看到同样的一份地址表。





# 第六章 总线系统

- 总线的仲裁
- 总线的定时和数据传送模式
- HOST总线和PCI总线
  - 多总线结构
  - PCI总线与InfiniBand标准



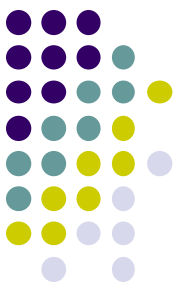
# PCI总线信号

- PCI总线的基本传输机制是猝发式传送，利用桥可以实现总线间的猝发式传送。
- 写操作时，桥把上层总线的写周期先缓存起来，以后的时间再在下层总线上生成写周期，即延迟写。
- 读操作时，桥可早于上层总线，直接在下层总线上进行预读。无论延迟写和预读，桥的作用可使所有的存取都按CPU的需要出现在总线上。



# PCI 总线周期类型

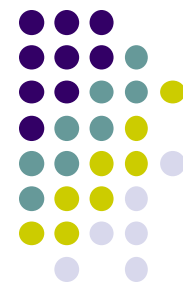
- PCI总线周期由当前被授权的主设备发起。PCI支持任何主设备和从设备之间点到点的对等访问，也支持某些主设备的广播读写。
  - 存储器读/写总线周期
  - 存储器写和使无效周期
  - 特殊周期
  - 配置读/写周期



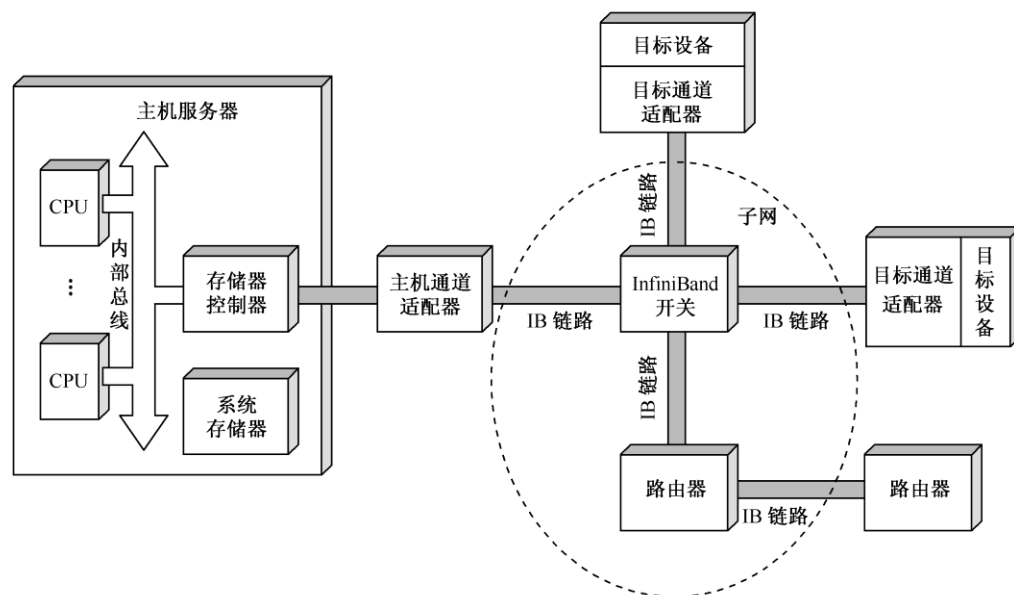
# PCI总线仲裁

- PCI总线采用集中式仲裁方式，每个PCI主设备都有独立的nREQ（总线请求）和nGNT（总线授权）两条信号线与中央仲裁器相连。
- 由中央仲裁器根据一定的算法对各主设备的申请进行仲裁，决定把总线使用权授予谁。但PCI标准并没有规定仲裁算法。
- PCI总线支持隐藏式仲裁，即在A设备占用总线期间，可根据算法判决下一次总线主方为设备B。该过程不需要单独占用总线周期，提升总线利用率。

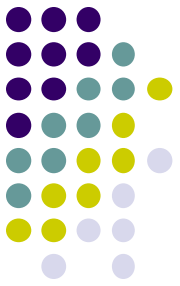
# InfiniBand标准



- 2001年推出的InfiniBand标准，定位高端服务器的I/O规范，是一种基于开关的体系结构。
- 可连接多达64000个服务器、存储系统、网络设备，能替代当前服务器中PCI总线
- 适合于高成本的较大规模计算机系统



# 第六章作业



- 6-3, 6-5, 6-6
- 选择题: 6-8, 6-9, 6-11, 6-15