

计算机组成原理

总线系统（2）

王浩宇,教授

haoyuwang@hust.edu.cn

<https://howiepku.github.io/>

4. 总线的定时和数据传送

- 总线操作与总线周期
- 串行/并行传送
- 总线通信方式

总线传输过程

✓ 一般可以分为4个阶段

- 申请分配阶段

主设备提出总线使用申请，总线仲裁机构决定下一个传输周期的总线使用权归属

- 寻址阶段

获得总线使用权的主设备发送本次要访问的从设备的地址及有关命令，启动参与本次传送的从设备

- 传送阶段

主设备与从设备进行数据交换

- 结束阶段

主设备相关信息从总线上撤除，让出总线使用权

总线传输过程

■ 总线事务

- 总线上一对主从设备之间的一次信息交换过程称为一个总线事务
- 常见的总线事务类型包括：存储器读，存储器写，I/O读，I/O写，中断响应，DMA响应等
- 总线事务一般包括一个寻址阶段和一个数据阶段
 - 寻址阶段发送一次地址信息和控制命令，从设备确认该地址并向主设备反馈应答信号；
 - 数据阶段，主从设备直接一般只能传输一个字长的数据，传输效率低

■ 突发传送事务：猝发传送，成组传送事务，Burst Mode

- 由一个寻址阶段和多个数据阶段组成
- 寻址阶段发送的是连续单元的首地址，数据阶段传送多个连续单元的数据
- 每个总线周期仍然传送一个计算机字长的信息，但不释放总线，直到一组信息全部传送完毕

总线的信息传送方式

- 总线上的信息以电信号的形式传送，用电位的高低或者脉冲的有无代表信息位的“1”或“0”

传输信息基本有四种方式：

串行传送

并行传送

并、串行传送

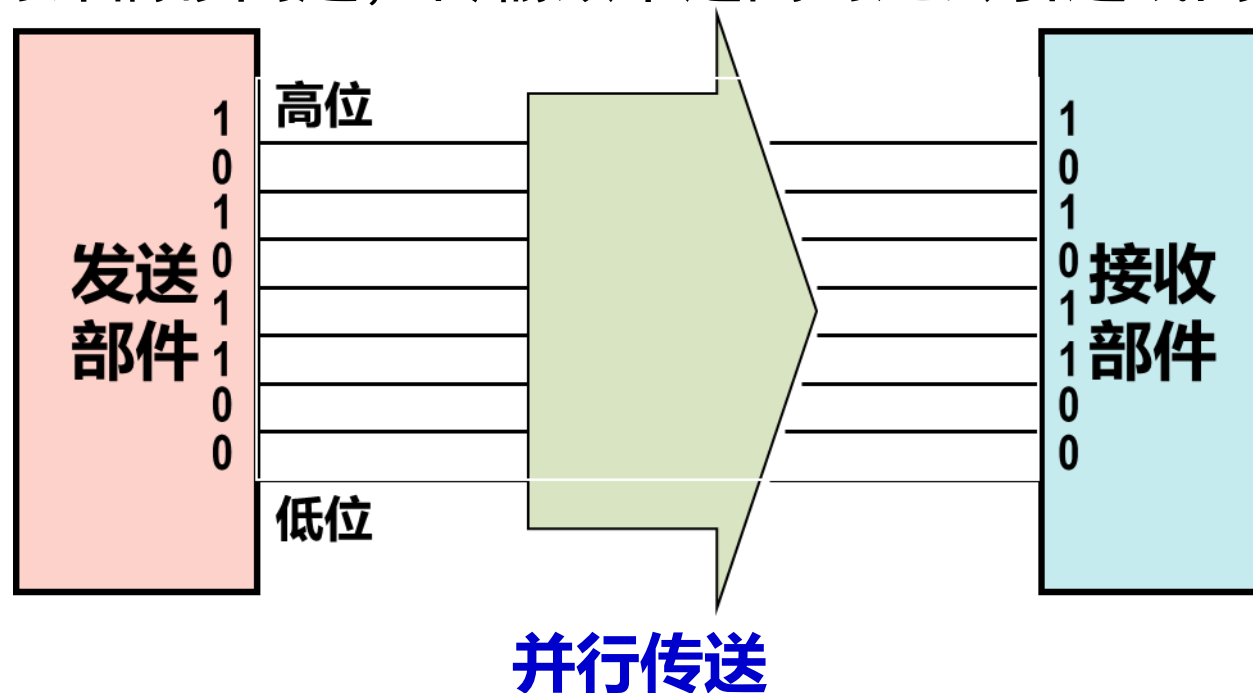
分时传送

信息的传送方式

■ 并行传送

并行传输

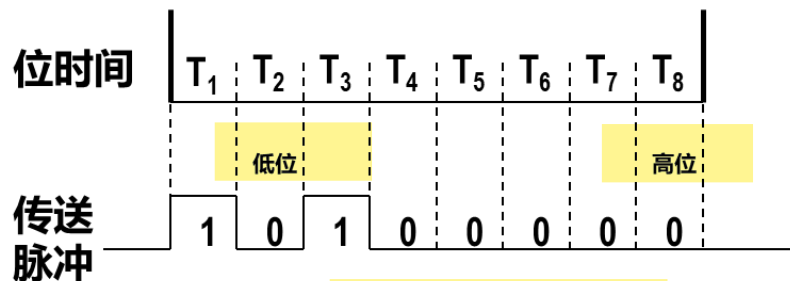
- 一个信息的所有位同时传送，每位都有各自的传输线，互不干扰
- 一般采用电位传输法，位的次序由传输线排列而定
- 特点：适应于短距离传送，数据传送快，线数多，成本高；传输距离较长时会产生时钟偏移问题，传输频率过高时还会引起线间串扰问题



信息的传送方式

■ 串行传送

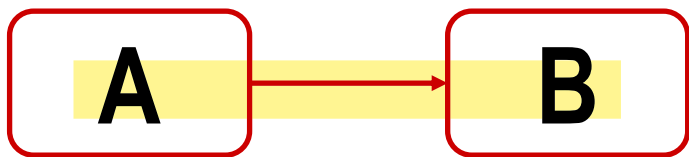
- 将数据逐位按顺序以脉冲方式传送，一次只能传送一个比特位的数据
- 信息在CPU内部通常是并行处理，因此要将信息以串行方式传送，在发送端和接收端分别需要增加并串转换和串并转换电路
- 特点：只有一条传输线，且采用脉冲串行传送，成本比较低廉，缺点是速度慢



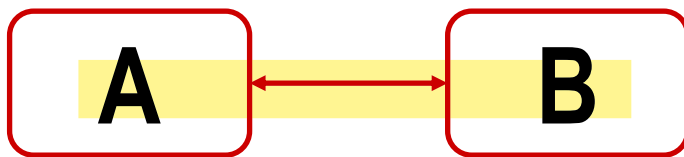
串行传送

信息的传送方式

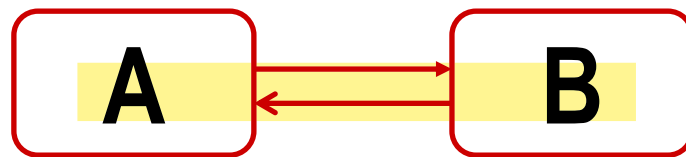
- 根据传送方向的不同，串行传送可以进一步分为单工 半双工 全双工三种
 - 单工方式只能进行固定方向的单向传送
 - 半双工方式能进行双向传送，但不能同时进行双向传送
 - 全双工方式能够同时进行双向传送
 - 要实现全双工必须包括两组传输线，且双方都应该设置发送器和接收器



单工



半双工



全双工

信息的传送方式

■ 根据定时方式的不同，串行传送分为同步串行通信和异步串行通信

■ 同步串行通信

- 传输双方采用**统一时钟**，除数据传输线外还应包括时钟线，时钟由发送方提供，这样接收方可以使用相同的时钟采样数据传输线中的每个信息位

■ 异步串行通信

- 传输双方各自都有**独立的时钟**，但传输双方应该按约定的速率发送和接收数据，传输时利用信息帧中的起停信号来进行数据同步

■ 串行通信通常使用**波特率来描述传输速率**

- **波特率**：每秒传送的二进制位数，信息帧中的启停位和校验位均计算在内
- **数传率**：单位时间内总线传输的有效数据位，不包括启停位和校验位

信息的传送方式

■ 并串行传送

- 将传送信息分为若干组，组内采用并行传送，组间采用串行传送
- 例如，在Intel 8088 CPU中，CPU内部数据通路为16位，CPU内部采用并行传送；但系统总线只有8位，CPU与主存或者外部设备通信只能采用并串行传送，即将一个16位字分成两个连续的8位字节进行串行传送

先传8 位，再传8 位。



信息的传送方式

■ 分时传送：有两种概念

- 采用总线复用方式，某个传输线上既传送地址信息，又传送数据信息
 - 目的是减少线缆数目，为此必须划分时间片，以便在不同的时段分别完成传送地址和传送数据的任务
- 共享总线的部件分时使用总线
 - 同一时刻总线使用权只能由一个主设备控制，当多个部件要求使用总线时，只能由总线控制器按时间片分时提供服务

总线数据传送模式

- 当代总线标准大都能支持四类模式的数据传送
 - 读写操作
 - 块传送操作
 - 写后读、读修改写操作
 - 广播、广集操作

总线数据传送模式

■ 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
- 主方先以一个总线周期发出命令和从方地址
- 寻址周期
- 读写周期
- 在分离事务通信中，主方完成寻址总线周期后可让出总线控制权，以使其他主方完成更紧迫的操作。然后再重新竞争总线，完成数据传送总线周期

总线数据传送模式

- 块传送操作：
 - 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
 - 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

总线数据传送模式

- 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

总线数据传送模式

■ 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
- 广集是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

练习

- 某同步总线时钟频率为100MHz，宽度为32位。地址和数据总线复用，每传输一个地址或数据占有一个时钟周期。若总线支持突发（猝发）传输方式，则一次主存写总线事务传送128位数据需要的时间至少是（）

A、 20ns B、 40ns
C、 50ns D、 80ns

$$\frac{1}{1 \times 10^8} \times \underbrace{4}_{\text{circled}} \times \frac{128}{32}$$

$$\underbrace{4}_{\text{circled}} \times$$

总线的定时

- CPU内功能部件的工作需要时序信号
- 总线的信息传送也需要时序
- 什么是总线的定时？
 - 通过总线仲裁确定了哪个设备可以使用总线，那么一个取得了总线控制权的设备如何控制总线进行总线操作呢？也即如何来定义总线事务中的每一步何时开始、何时结束呢？这就是总线通信的定时问题。
- 目的：同步主方和从方的操作，解决通信双方协调配合的问题

定时方式

通信的双方，如何获知通信开始和通信结束，以及通信双方如何协调和配合

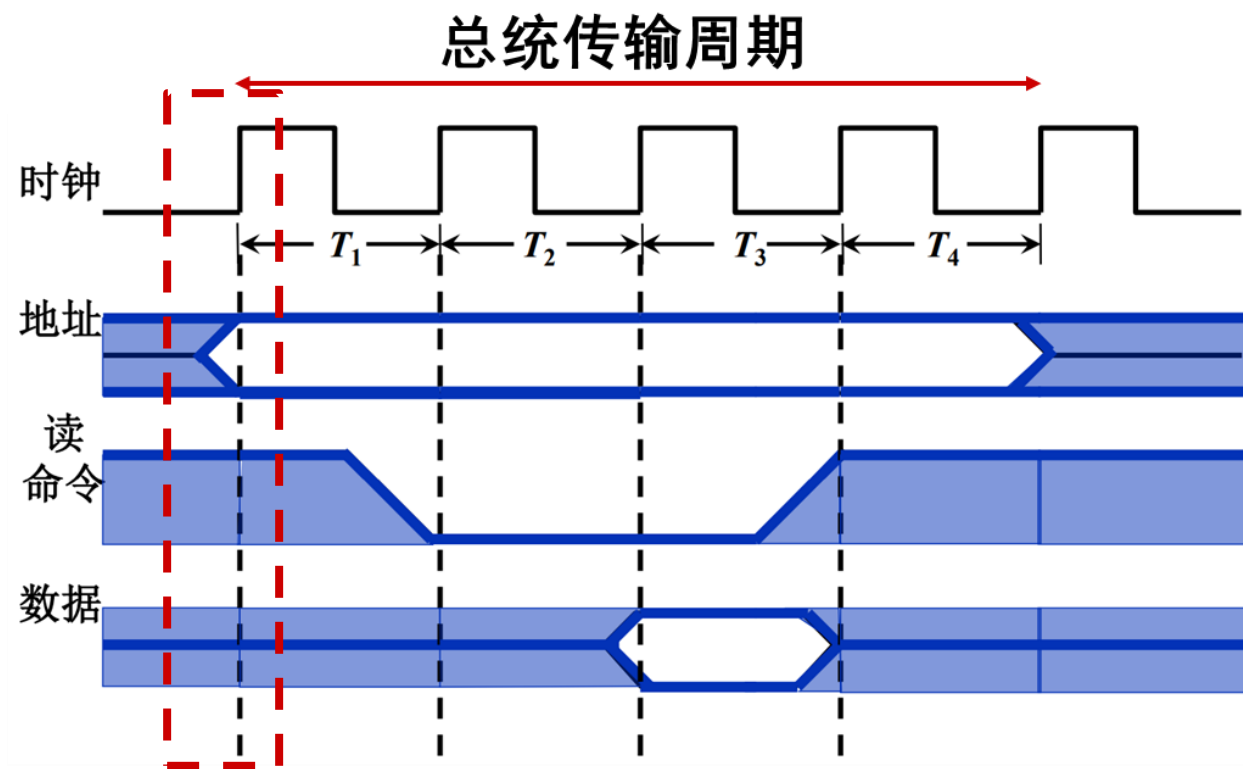
- 同步定时
 - 统一时钟控制数据传送
- 异步定时
 - 采用应答/互锁方式，没有公共时钟标准
- 半同步定时
- 周期分裂式定时

同步定时

- 系统采用统一的时钟信号来协调发送接收双方的传送定时关系
- 时钟标准的形成
 - 通常由CPU总线控制部件发出，发送给总线上的所有设备部件
 - 也可以由各个设备部件各自的时序发生器发出，但必须由总线控制部件发出的时钟信号对它们进行同步
- 总线中包含时钟信号线
- 一次I/O传送称为时钟周期或者总线周期

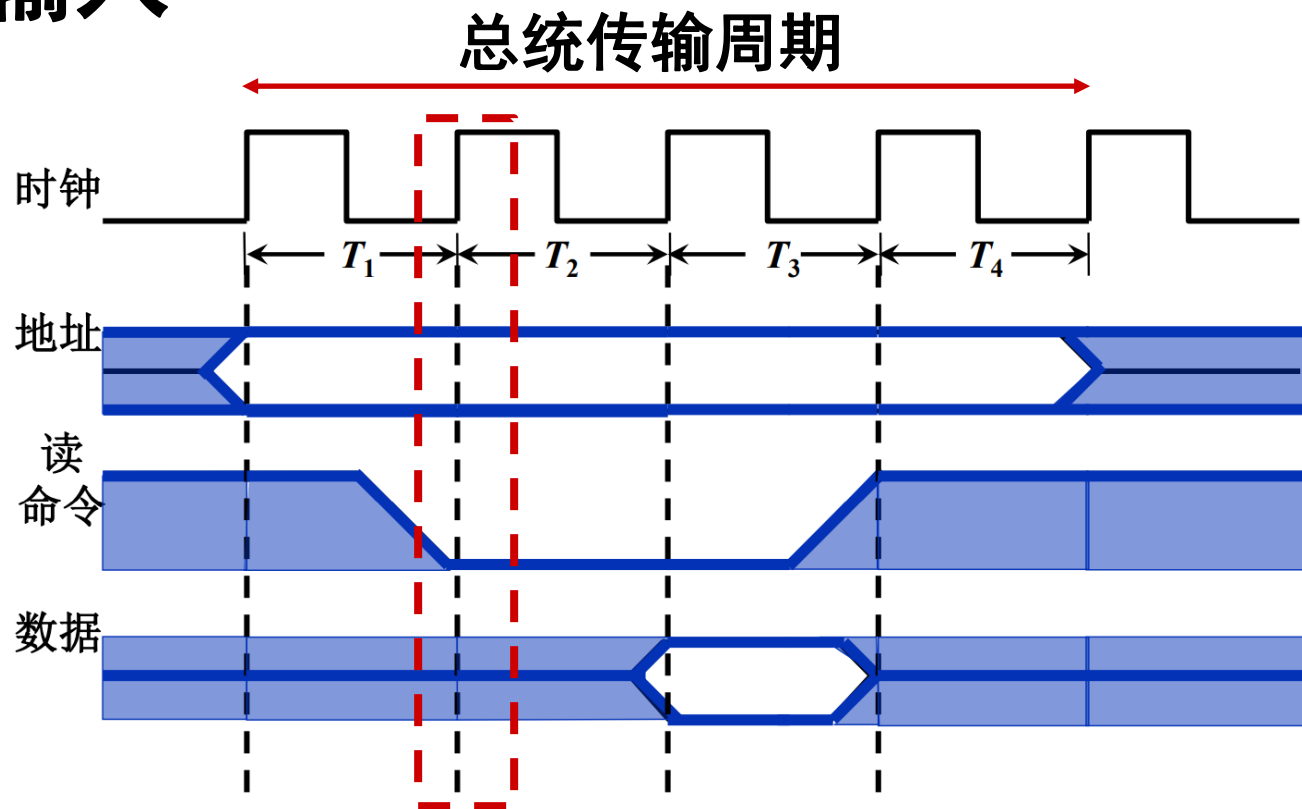
同步数据输入

假设CPU作为主设备，某个输入设备作为从设备



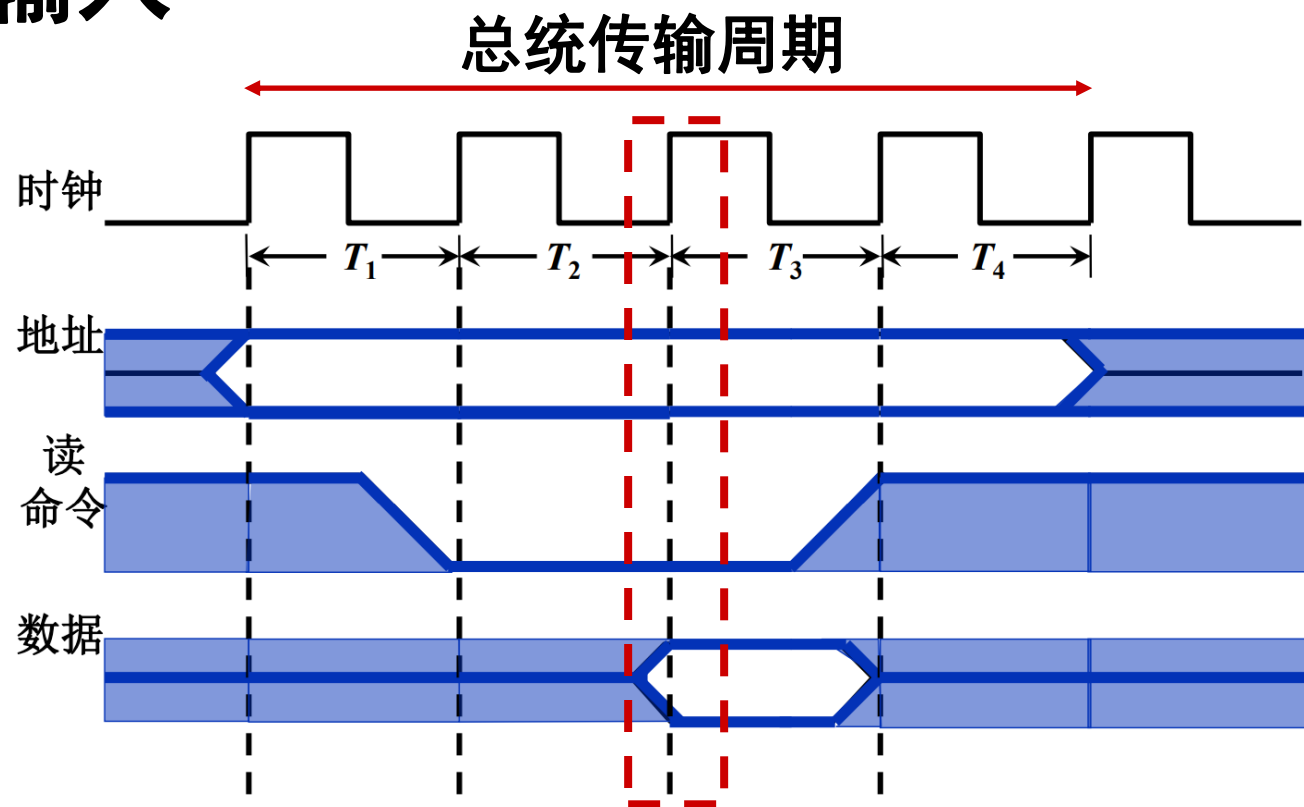
- CPU获得总线的控制权之后，在T1上升沿，CPU会发出地址信号，用来指明它想读的从设备的地址

同步数据输入



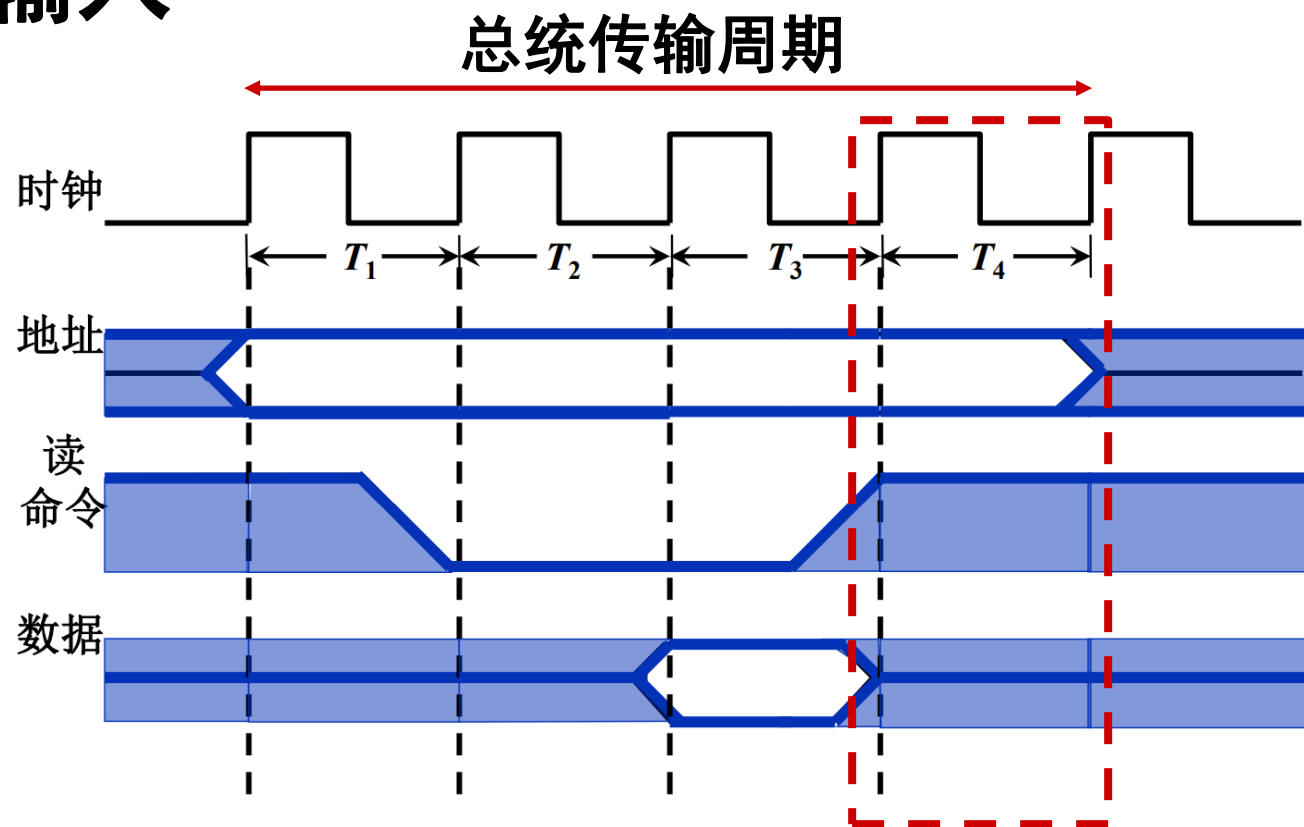
- **T2上升沿：CPU向从设备发出读命令**
 - 电平信号从高电平转为了低电平
- T2时钟周期内，首先从设备可以根据地址信息来判断，主设备要读的对象是不是自己，在T2周期，从设备准备好主设备想要读出的数据

同步数据输入



- 在 T_3 上升沿到来的时候，从设备就会把自己准备好的数据放到数据总线上，那么主设备就可以从数据总线获得想要的数

同步数据输入



- T4时钟周期：主设备会撤销读命令，然后撤销地址信号来释放总线的控制权

同步定时的特点

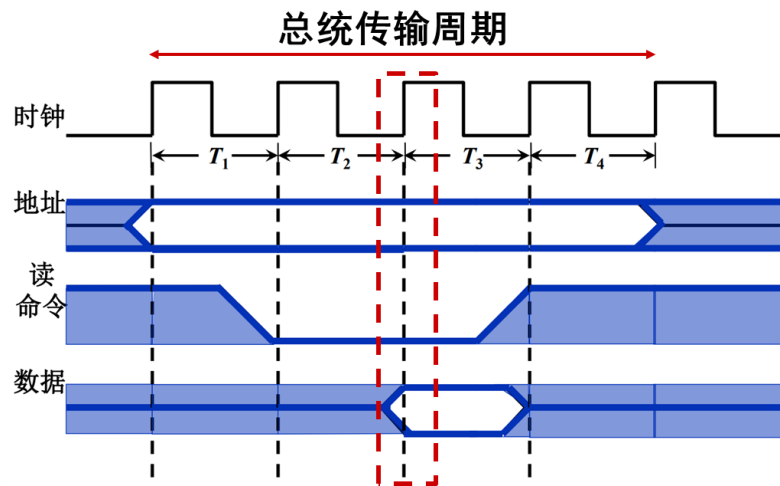
■ 同步定时特点：

- 事件出现在总线上的时刻由总线时钟信号来确定
- 由于采用了公共时钟，每个功能模块什么时候发送或接收信息都由统一时钟规定
 - 同步总线必须按照最慢的模块来设计公共时钟，当各功能模块存取时间相差很大时，会大大损失总线效率
- 同步定时适用于总线较短、各功能模块存取时间比较接近的情况

同步定时的优点

- 传送速度快，具有较高的传输速率
 - 只要给出时钟频率比较高，就可以使总线周期比较短
- 总线控制逻辑简单
 - 由于任何一组主设备和从设备工作规定都是统一的，都需要根据统一的时钟信号来进行操作
 - 所以这种总线定时方式，它的控制逻辑实现起来比较简单。只需要实现一个标准即可

同步定时的缺点



■ 主从设备属于强制性同步，必须根据统一的节奏进行工作

- 例如，从设备在接收到地址信息和读命令之后， T_2 时钟周期内，从设备需要准备好主设备想要读的数据，在 T_3 上升沿到达的时候，从设备就可以把数据放到数据总线上
 - 如果从设备速度比较慢，跟不上节奏，在 T_3 周期内，从设备不能给出数据，那么这种同步定时的方式就会出现问题

■ 不能及时进行数据通信的有效性检验，可靠性差

- 如果总线周期内，传送的数据中间发生了一些变动（比如二进制的跳变）。那么对于这种同步通信方式来说，并不会留有多余时间让主从双方检测数据到底是否有效，在传输过程中有没有问题。所以数据传输可靠性差。

异步定时

■ 异步定时（建立在互锁机制基础上）

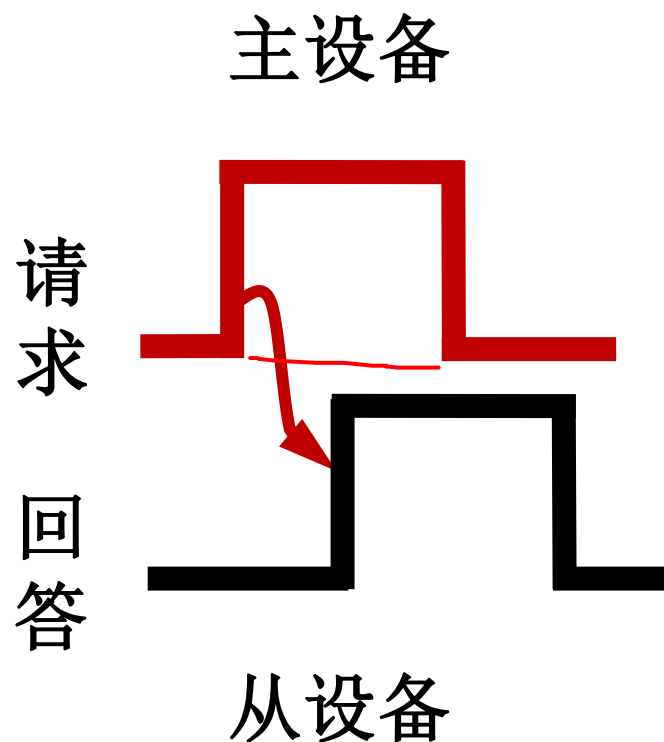
- 允许总线上的各部件有各自的时钟，在部件之间进行通信时没有公共的时间标准
- 后一事件出现在总线上的时刻取决于前一事件的出现，用“应答方式”（也称为握手方式）来进行
- 允许各模块的速度不一致，给设计者充分的灵活性和选择余地
- 主设备提出交换信息的“请求”信号，经接口传送到从设备，从设备接到主设备的请求后，通过接口向主设备发出“回答”信号
 - 比如前页例子中
 - 请求信号：CPU作为主设备，它的请求信号就是“地址”、“读命令”（指明它要读的是哪一个设备，要读的是什么数据）
 - 回答信号：将“数据”信息放到数据总线上

异步定时

- 异步通讯中根据应答信号是否互锁，即请求和回答信号的建立和撤消是否互相依赖，异步通讯可分为三种类型
 - 非互锁通讯
 - 半互锁通讯
 - 全互锁通讯

异步定时

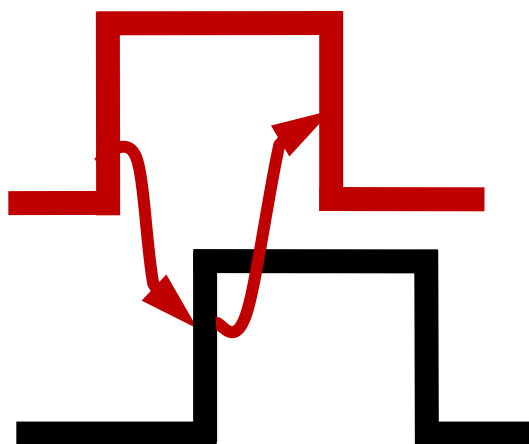
对方
不管有没有收到，默认对方收到



不互锁

- 主模块发出请求信号后，不必等待接到从模块的回答信号，而是等一段时间，便撤销其请求信号
- 从模块接到请求信号后，在条件允许时发出回答信号，并且经过一段时间觉得主模块已经收到回答信号后，自动撤销回答信号
- 通信双方并无互锁关系

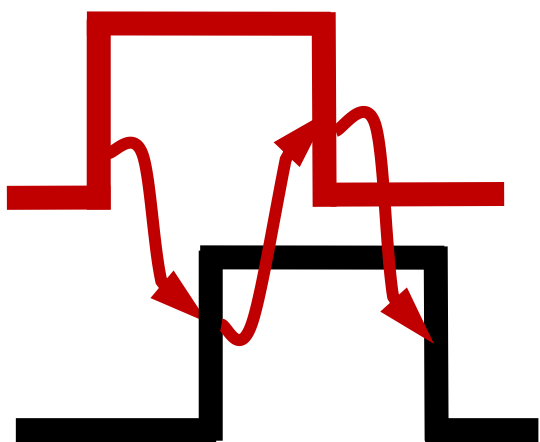
异步定时



半互锁

- 主模块发出请求信号，必须待接到从模块的回答信号后再撤销其请求信号
- 从模块在接到请求信号后发出回答信号，但不必等待获知主模块的请求已经撤销，而是隔一段时间后自动撤销其回答信号
- 一方存在互锁关系，一方不存在互锁关系，故称半互锁方式

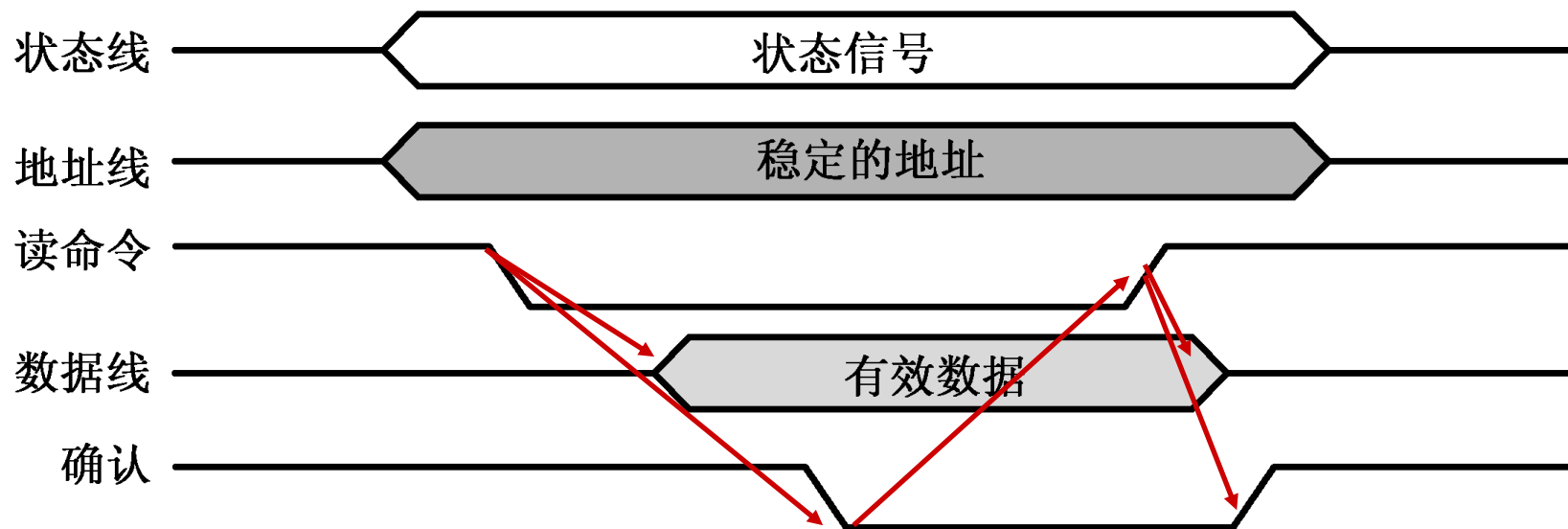
异步定时



- 主模块发出请求信号，必须待从模块回答后再撤销其请求信号
- 从模块发出回答信号，必须待获知主模块请求信号已经撤销后，再撤销其应答信号
- 双方存在互锁关系，故称全互锁方式

全互锁

异步总线操作时序 读周期



- **寻址阶段：** CPU发送地址及相关地址状态信号到总线上，同时发出读命令，然后开始等待从设备的应答信号；
- **数据阶段：** 从设备识别到地址并匹配，准备好数据后将读出的数据放置在数据总线上，同时向主设备反馈一个应答信号，表示数据总线上的数据就绪，主设备收到了应答信号后立即取走数据；
- **结束阶段：** 主设备进行相关信号撤除工作，从设备检测到读命令信号撤除后也会自动撤除数据和应答信号

异步定时

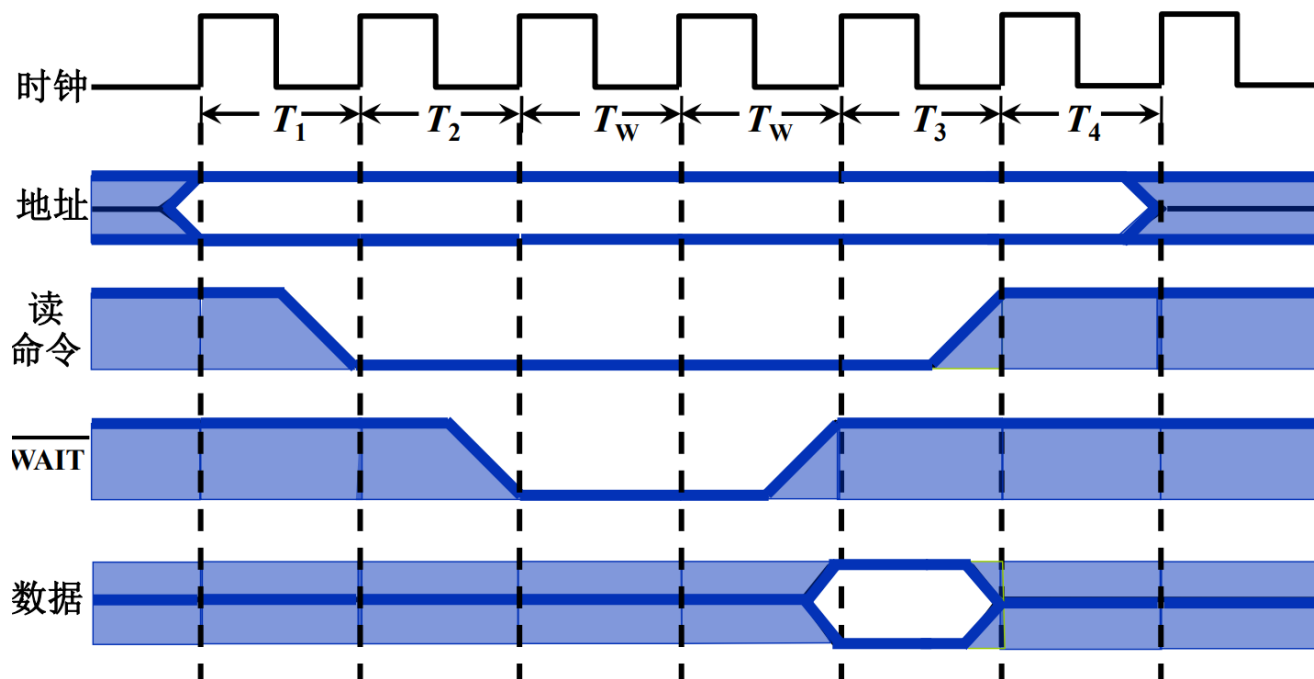
■ 异步定时特点：

- 总线周期长度可变，允许快速慢速设备在同一条总线
- 但会增加总线复杂性和成本

半同步定时

- 异步应答方式对噪声非常敏感，为了解决这个问题，可以在异步总线中引入时钟信号，规定握手信号总在时钟触发时被采样
- 保留同步通信的基本特点
 - 所有地址、命令、数据信号的发出，都严格参照系统时钟沿开始
 - 接收方都采用系统时钟后沿时刻来进行判断识别
- 结合异步通信方式，允许设备部件以不同速度工作
 - 增设一条“等待”响应信号线，采用插入时钟（等待）周期的措施来协调通信双方的配合问题

半同步定时总线传输周期



- 主设备在 T_1 时间发出地址信号，在 T_2 设备上沿发出读命令
- 如果是同步定时方式， T_2 之后，从设备需要准备好自己的数据
 - 但是有的从设备跟不上这个节奏。所以半同步方式中，当从设备跟不上节奏的时候，就会通过控制线路给总线的控制器进行一个反馈，让总线控制器等自己一会儿
 - T_w 就是总线控制器在等从设备准备数据。经过两个 T_w 之后，从设备准备好了数据。
- 在 T_3 上升沿，从设备就可以将自己准备好的数据，通过数据总线发送给主设备。
- T_4 阶段，主设备撤销地址信息和读命令

半同步定时

- 优点
 - 控制方式比异步通信简单
 - 各模块由统一时钟控制同步工作，可靠性较高，有效解决异步传输中的噪声敏感问题
- 缺点：等待时间不确定导致工作效率低
- 适用于系统工作速度不高，而又包含了由许多工作速度差异较大的各类设备组成的简单系统

同步 异步 半同步 三种通信方式的特点

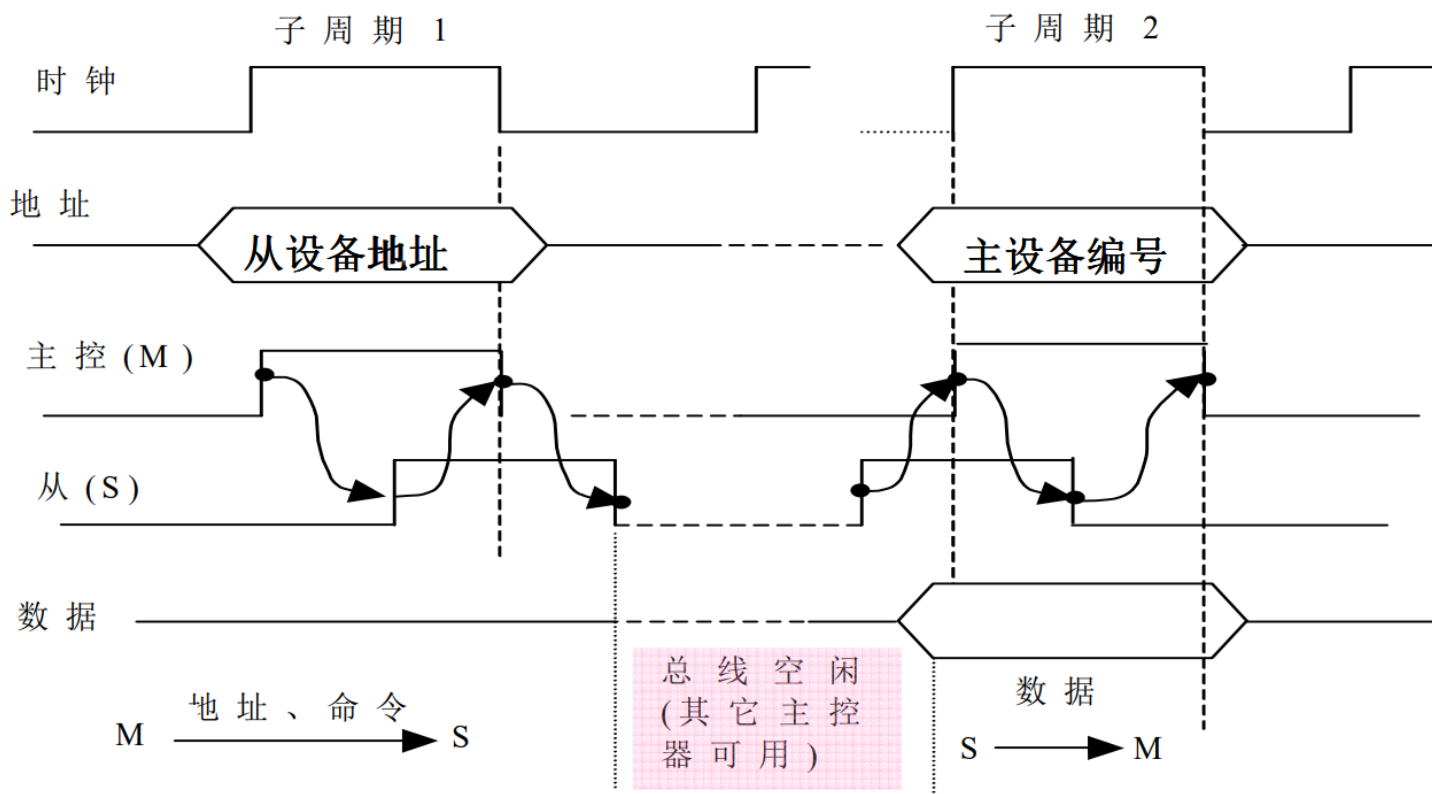
- 总线传输周期从主设备发出地址和读写命令开始，直到数据传输结束
- 传输周期，系统总线由具有总线使用权的主设备和它选中的从设备占据
- 总线传输周期时间主要花费在
 - 主设备通过总线向从设备发送地址和命令 使用总线
 - 从设备按照命令准备数据 不使用总线
 - 从设备通过总线向主设备提供数据 使用总线

从设备在准备数据的过程中，总线并不能进行任何操作，浪费若干时钟周期。如果此时能够释放总线，主设备等待的时钟周期就可以用于处理其他总线事务

分离事务通信

■ 分离式通信方式：把总线传输周期，分为两个独立的子周期

- 主设备获得总线使用权后向相关从设备发送地址和命令等信息；
从设备应答后，主设备放弃总线使用权；从设备准备数据，总线用于处理其他总线事务
- 从设备准备好数据，然后申请总线使用权，向相应的主设备发送要求的数据信息



分离事务通信

■ 特点

- 两个子周期都只有单方向的信息流，每个设备其实都成了主设备
 - 各个设备都有权申请总线使用权
 - 各模块准备数据时，不占用总线
 - 总线被占用时都在有效工作，不存在空闲等待时间
 - 总线在多个主、从设备间交叉重叠并行式传送
- 这种方式大大提高了总线利用率，但控制方式更加复杂
- PCIe总线就支持分离事务通信协议