

3.3 总线设计

在大多数小型和微型计算机系统中，计算机的各子系统之间通过总线（Bus）实现连接。

3.3.1 总线特点

总线是一组能为多个部件分时共享的公共信息传送线路。共享是指总线上可以挂接多个部件，各个部件之间相互交换的信息都可以通过这组公共线路传送；分时是指同一时刻总线上只能传送一个部件发送的信息。总线的优点是成本低、简单；缺点是总线的带宽形成了信息交换的瓶颈，从而限制了系统中总的I/O吞吐量。



3.3 总线设计

1. 总线事务

通常把在总线上一对设备之间的一次信息交换过程称为一个“总线事务”，把发出总线事务请求的部件称为主设备，与主设备进行信息交换的对象称为从设备。例如CPU要求读取存储器中某单元的数据，则CPU是主设备，而存储器是从设备。总线事务类型通常根据它的操作性质来定义，典型的总线事务类型有“存储器读”、“存储器写”、“I/O读”、“I/O写”、“中断响应”等，一次总线事务简单来说包括两个阶段：地址阶段和数据阶段。



3.3 总线设计

2. 总线使用权

- 总线是由多个部件和设备所共享的，为了正确地实现它们之间的通信，必须有一个总线控制机构，对总线的使用进行合理的分配和管理。
- 主设备发出总线请求并获得总线使用权后，就立即开始向从设备进行一次信息传送。称为主从关系。主设备负责控制和支配总线，向从设备发出命令来指定数据传送方式与数据传送地址信息。只有获得总线使用权的设备才是主设备。
- 通常，将完成一次总线操作的时间称为总线周期。总线使用权的转让发生在总线进行一次数据传送的结束时刻。



3.3 总线设计

总线的类型

就允许信息传送的方向来说，总线可以有单向传输和双向传输两种。双向传输又有半双向和全双向的不同。前者虽可以沿相反的方向传送，但同一时刻只能向其中的一个方向传送。后者允许同时在两个方向传送。全双向的速度快，但造价高，结构复杂。

总线按其用法可以分成专用的和非专用的。



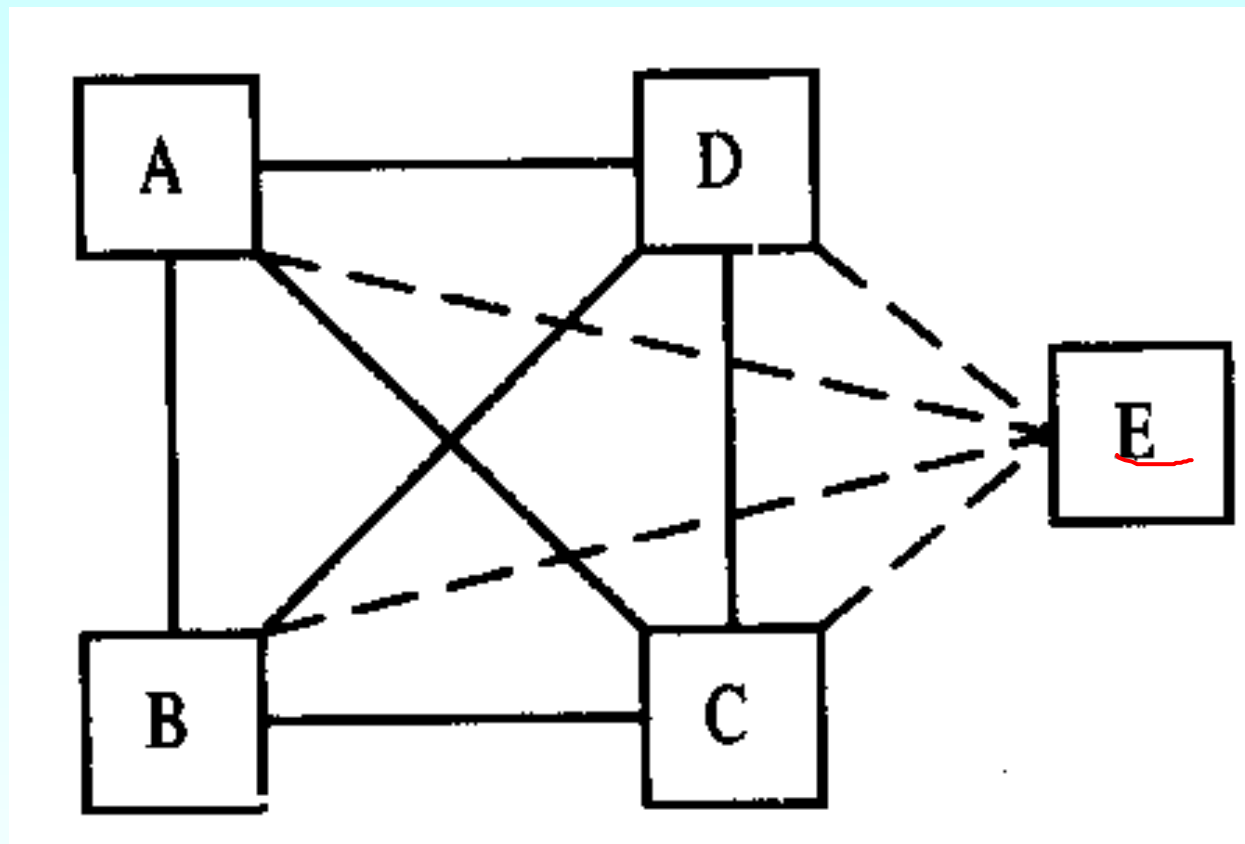


图 所有部件之间用专用总线互连



3.3 总线设计

3.3.2 总线的数据宽度与总线线数

1. 数据宽度

数据宽度是I/O设备取得I/O总线后所传送数据的总量，它不同与前述的数据通路宽度。数据通路宽度是数据总线的物理宽度，也就是数据总线的线数。而两次分配总线期间所传送的数据宽度可能要经过多个时钟周期分次传送才能完成。数据宽度有单字（单字节）、定长块、变长块、单字加定长块和单字加变长块等。



3.3 总线设计

单字（单字节）宽度适合于低速设备。因为这些设备在每次传送一个字（字节）后的访问等待时间很长，在这段时间里让总线释放出来为别的设备服务，可大大提高总线利用率和系统效率。

定长块宽度适合于高速设备，可以充分利用总线带宽。定长块也不用指明传送信息的长度，简化了控制。但由于块的大小固定，当它要比实际传送的信息块小得多时，仍要多次分配总线。

变长块宽度适合于高优先级的中高速设备，灵活性好，可按设备的特点动态地改变传送块的大小，使之与部件的物理或逻辑信息块的大小一致。



3.3 总线设计

单字加定长块宽度适合于速度较低而优先级较高的设备。这样，定长块的大小就不必选择过大，信息块超过定长块的部分可用单字处理，从而减少总线带宽、部件的缓冲器空间，减少部件可用能力的浪费。不过，若传送的信息块小于定长块的大小，但字数又不少时，设备或总线的利用率会降低。

单字加变长块宽度是一种灵活有效但却是复杂、花钱的方法。当要求传送单字时比只能成块传送的方法节省了不少起始辅助操作；而当成块传送时，块的大小又能调整到与部件和应用的要求相适应，从而优化了总线的使用。



3.3 总线设计

2. 总线的线数

总线需要有发送电路、接收电路、传输导线或电缆、转接插头和电源等，这部分比起逻辑线路的成本高得多，而且转接器往往占系统物理空间的相当部分，是降低系统可靠性的主要部分。总线的线数越多，成本越高、干扰越大、可靠性越低、占用的空间也越大，当然传送速度和流量也越高。此外，总线的长度越长，成本越高，干扰越大，波形畸变越严重，可靠性越低。为此，越是长的总线，其线数就应尽可能减少。数据总线的宽度有一位、一个字节或一个全字等等。



3.2 总线设计

在满足性能要求以及所用通信类型和速率适配的情况下，应尽量减少总线的线数。通过采用线的组合、并/串-串/并转换和编码可以减少总线的线数，但这通常会降低总线的流量。



3.3 总线设计

3.3.3 总线的性能指标

(1) 总线宽度

总线宽度指的是总线的线数，它决定了总线所占的物理空间和成本。对总线宽度最直接的影响是地址线和数据线的数量。主存空间和I/O空间的扩充使地址线数量的增加，并行传输要求有足够的数据线。如64位数据线和64位地址线在高档微机中已较为普遍，在大型高性能计算机中数据线和地址线更多。

例1：使用ISA总线（20位地址线）允许寻址的主存空间有多大？使用PCI总线（32位地址线）允许寻址的主存空间又有多大？

解：ISA总线的主存空间= 2^{20} 个主存单元=1M个主存单元

PCI总线的主存空间= 2^{32} 个主存单元=4G个主存单元



3.2 总线设计

(2) 总线带宽

总线带宽定义为总线的最大数据传输速率，即每秒传输的字节数。在同步通信中，总线的带宽与总线时钟密不可分，总线时钟频率的高低决定了总线带宽的大小。

总线带宽=总线宽度×总线频率

总线的实际带宽还会受到总线长度（总线延迟）、总线负载、总线收发器性能等多方面因素的影响。

例2：PCI总线的时钟频率为33MHz/66MHz，当该总线进行32/64位数据传送时，总线带宽各是多少？

解：假设一个总线时钟周期 T 完成一个数据的传送，时钟频率为 f ，数据位为 n ，总线带宽用 Dr 表示，则 $Dr = \frac{n}{8 \times T}$
 $= \frac{n \times f}{8}$ 。

假设 $f=33\text{MHz}=33 \times 10^6/\text{s}$ ， $n=32$ 位，根据定义可得
 $Dr=4 \times 33 \times 10^6/\text{s}=132\text{MB/s}$



3.2 总线设计

例3：假设某系统总线在一个总线周期中并行传输4字节信息，一个总线周期占用2个时钟周期，总线时钟频率为10MHz，求总线带宽。

解：因为一个总线周期占用2个时钟周期，完成一个32位数据的传送。总线时钟频率 $f=10\text{MHz}$ ，时钟周期 $T=1/f=0.1\mu\text{s}$ ，总线周期 $=2T=0.2\mu\text{s}$ 。一个总线周期中并行传输4字节信息，则总线带宽是 $4 \div 0.2=20\text{MB/s}$ 。



3.2 总线设计

(3) 总线负载

总线负载是指连接在总线上的最大设备数量。大多数总线的负载能力是有限的。

(4) 总线复用

总线分时复用是指在不同时段利用总线上同一个信号线传送不同信号，例如地址总线 and 数据总线共用一组信号线。采用这种方式的目的是减少总线数量，提高总线的利用率。

(5) 总线猝发传输

猝发式数据传输是一种总线传输方式，即在一个总线周期中可以传输存储地址连续的多个数据。

burst



3.3 总线设计

3.3.4 总线定时控制

总线的定时控制方式一般分为同步方式和异步方式。

1. 同步定时方式

系统采用一个统一的时钟信号来协调发送和接收双方的传送定时关系。时钟产生相等的时间间隔，每个间隔构成一个总线周期。在一个总线周期中，发送和接收双方可以进行一次数据传送。由于是在规定的时间段内进行I/O操作，所以，发送者不必等待接收者有什么响应，当这个时间段结束后，就自动进行下一个操作。

同步方式中的时钟频率必须能适应在总线上最长的延迟和最慢的接口的需要。



3.3 总线设计

2. 异步定时方式

异步定时方式也称为应答方式。在这种方式下，没有公用的时钟，也没有固定的时间间隔，完全依靠传送双方相互制约的“握手”信号来实现定时控制。

把交换信息的两个部件或设备分为主设备和从设备，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申请后，通过接口向主设备发出“回答”信号，整个“握手”过程就是一问一答地进行的。

异步控制能保证两个工作速度相差很大的部件或设备间可靠地进行信息交换；但是控制较同步方式稍复杂一些，成本也会高一些。



3.3 总线设计

异步方式根据“请求”和“回答”信号的撤销是否互锁，有3种情况：

(1) 不互锁

“请求”和“回答”信号都有一定的时间宽度，“请求”信号的结束和“回答”信号的结束不互锁。

(2) 半互锁

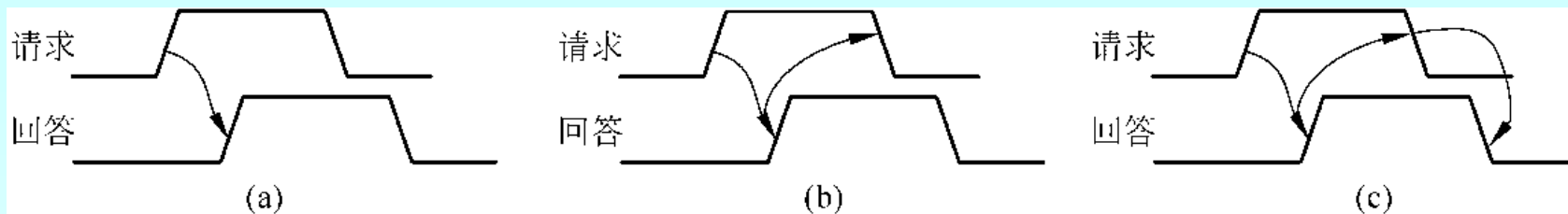
“请求”信号的撤销取决于接收到“回答”信号，而“回答”的撤销由从设备自己决定。

(3) 全互锁

“请求”信号的撤销取决于“回答”信号的来到，而“请求”信号的撤销又导致“回答”信号的撤销。最高的灵活性和可靠性，付出了接口电路复杂性的代价



3.3 总线设计



3.3 总线设计

为了提高可靠性，要求目的部件对数据是否已被接收以及是否正确均能给以回答。如果同步时间片的宽度宽到能为每个字的传送作出回答，则它必须按接到总线上的最低速的部件来考虑，这就会使同步通信的数据传送速率低于后面讲的异步通信。一种解决办法是在正常时，目的部件不作回答，源部件也不等待回答信号，但如果发生错误，则目的部件将在同步时间片过去之后，发回源部件一个出错信号，这样，就不会降低正常时总线的传送速率。但是这种办法中，源部件必须设置较大容量的缓冲器来保留已传送，但未经证实和回答过的所有数据，以备重发之用。



3.3 总线设计

总线的通信技术

1. 同步通信

同步通信时，两个部件之间的信息传送是通过定宽、定距的系统时标进行同步的。这种方式的信息传送速率高，受总线的长度影响小，但会因时钟在总线上的时滞而造成同步误差，且时钟线上的干扰信号易引起误同步。



3.3 总线设计

2. 异步通信

由于I/O总线一般是为具有不同速度的许多I/O设备所共享，因此宜于采用异步通信。异步通信又可分为单向控制和双向(请求/回答)控制两种。

单向控制指的是通信过程只由目的或源部件中的一个控制。而双向控制是由源和目的双方共同控制。单向控制又有源控制和目的控制两种。



3.3 总线设计

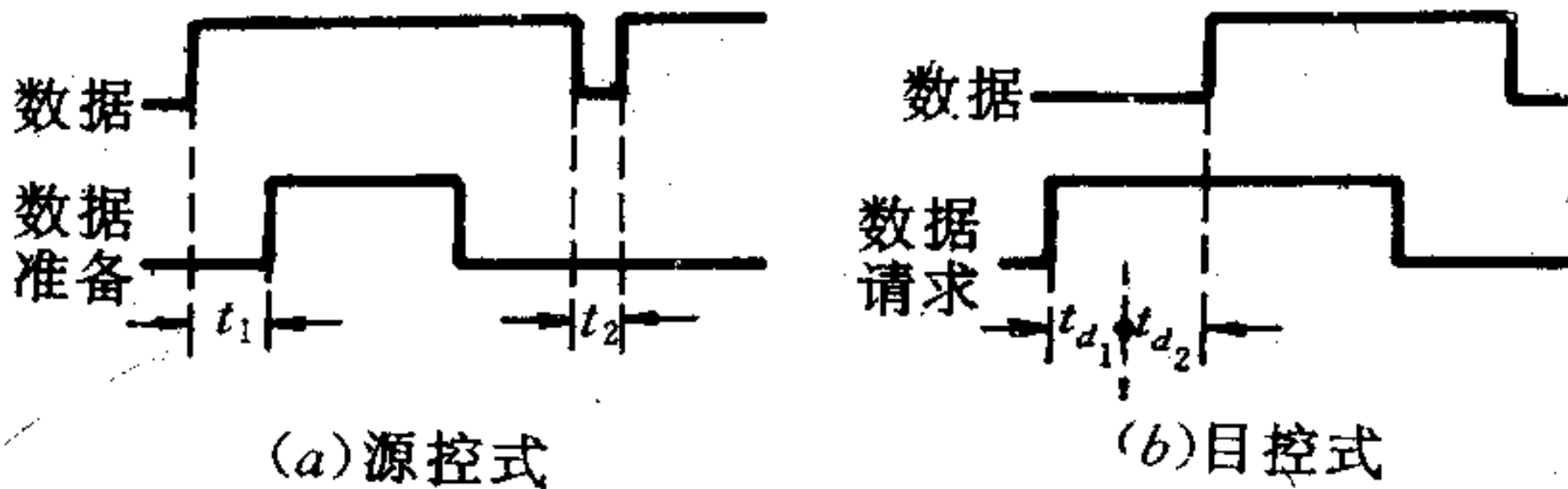
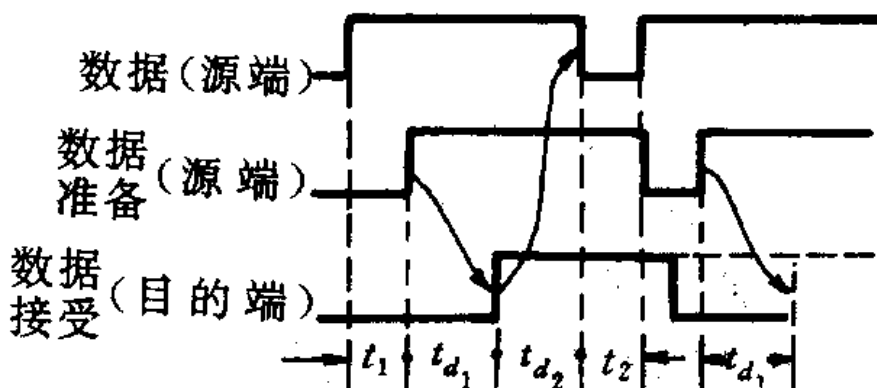


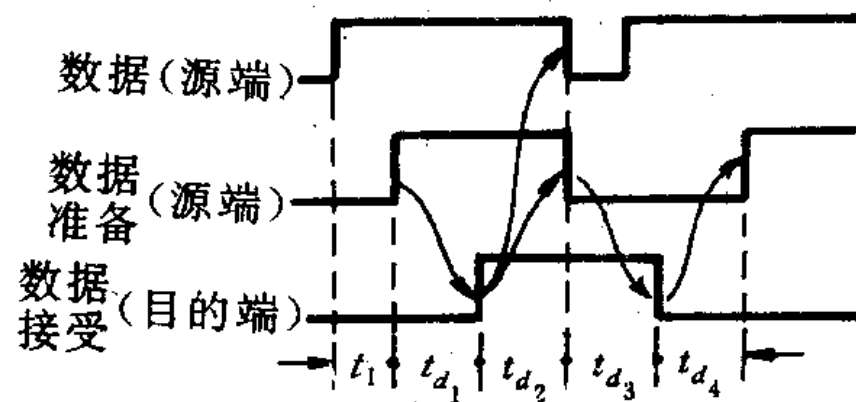
图 3.5 异步单向控制通信



3.3 总线设计



(a) 非互锁方式



(b) 互锁方式

图 3.6 源控式异步双向控制通信



3.3 总线设计

3.3.5 总线的控制方式

当采用非专用总线时，由于可能发生多个设备或部件同时申请使用总线，就得有总线控制机构来按照某种优先次序裁决，保证在同一时间内只能有一个高优先级的申请者取得对总线的使用权。

如果总线控制逻辑基本上集中放在一起，不论是放在连接到总线的一个部件中，还是放在单独的硬件中，都称为集中式控制。而当总线控制逻辑分散于连接到总线的各个部件中时，就称为分布式总线控制。这里先讲集中式总线控制。



3.3 总线设计

1. 总线的集中仲裁方式

为了保证同一时刻只有一个申请者使用总线，总线控制机构中设置有总线判优和仲裁控制逻辑，即按照一定的优先次序来决定哪个部件首先使用总线，只有获得总线使用权的部件，才能开始数据传送。总线控制逻辑集中在一处（如在CPU中）的，称为集中式控制，就集中式控制而言，有3种常见的优先权仲裁方式：



3.3 总线设计

(1) 链式查询方式

链式查询方式的总线控制器使用三根控制线与所有部件和设备相连：

总线请求（BR）：该线有效，表示至少有一个部件或设备要求使用总线。

总线忙（BS）：该线有效，表示总线正在被某部件或设备使用。

总线批准（BG）：该线有效，表示总线控制器响应总线请求。



3.3 总线设计

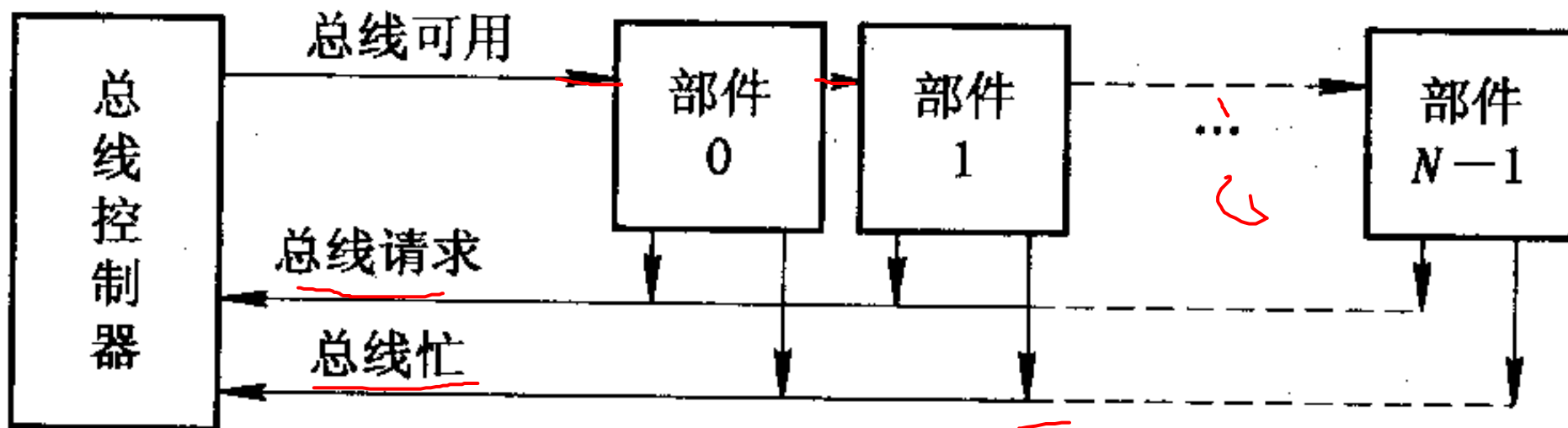


图 3.2 集中式串行链接



3.3 总线设计

链式查询的优点是只用3根线就能按一定的优先次序来实现总线控制，并很容易扩充。缺点是对查询链的故障很敏感，如果第*i*个部件中的查询链电路有故障，那么第*i*个以后的部件都不能工作。另外，因为查询的优先级是固定的，所以当优先级较高的部件出现频繁的总线请求时，优先级较低的部件就可能会难以得到响应。



(2) 计数器定时查询方式

计数定时查询方式的总线上的每个部件可以通过公共的BR 线发出请求，总线控制器收到请求之后，在BS为“**0**”的情况下，让计数器开始计数，定时地查询各个部件以确定是谁发出的请求。当查询线上的计数值与发出请求的部件号一致时，该部件就使BS线置“**1**”，获得了总线使用权，并中止计数查询，直至该部件完成数据传送之后，撤消BS信号。



3.3 总线设计

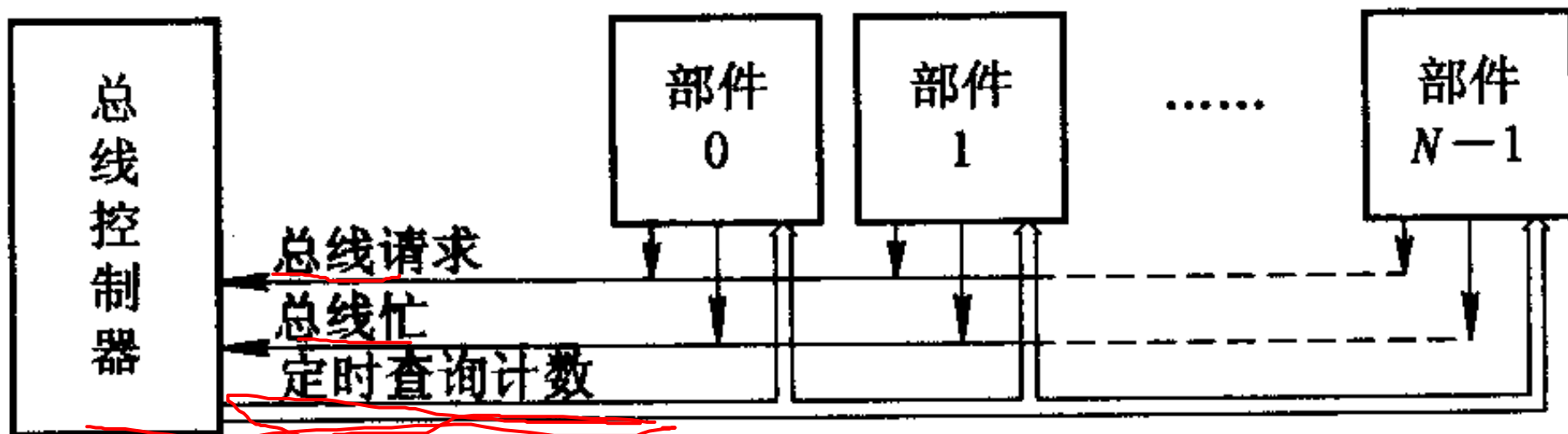


图 3.3 集中式定时查询



3.3 总线设计

这种计数可以从“0”开始，也可以从中止点开始。如果从“0”开始，各部件的优先次序和链式查询方式相同，优先级的次序是固定的。如果从中止点开始，即为循环优先级，各个部件使用总线的级别将相等。计数器的初始值还可以由程序来设置，这就可以方便地改变优先次序，增加系统的灵活性。定时查询方式的控制线数较多，对于 n 个部件，共需 $2 + \lceil \log_2 n \rceil$ 根线。



3.3 总线设计

(3)独立请求方式

在独立请求方式中，每一个共享总线的部件均有一对控制线：总线请求**BRI**和总线批准**BGi**。当某个部件请求使用总线时，便发出**BRI**，总线控制器中有一排队电路，根据一定的优先次序决定首先响应哪个部件的请求**BRI**，然后给该部件送回批准信号**BGi**。

独立请求方式的优点是响应时间快，然而这是以增加控制线数和硬件电路为代价的。对于 n 个部件，控制线的数目将达 $2n+1$ 根。此方式对优先次序的控制也是相当灵活的，它可以预先固定，也可以通过程序来改变优先次序。



3.3 总线设计

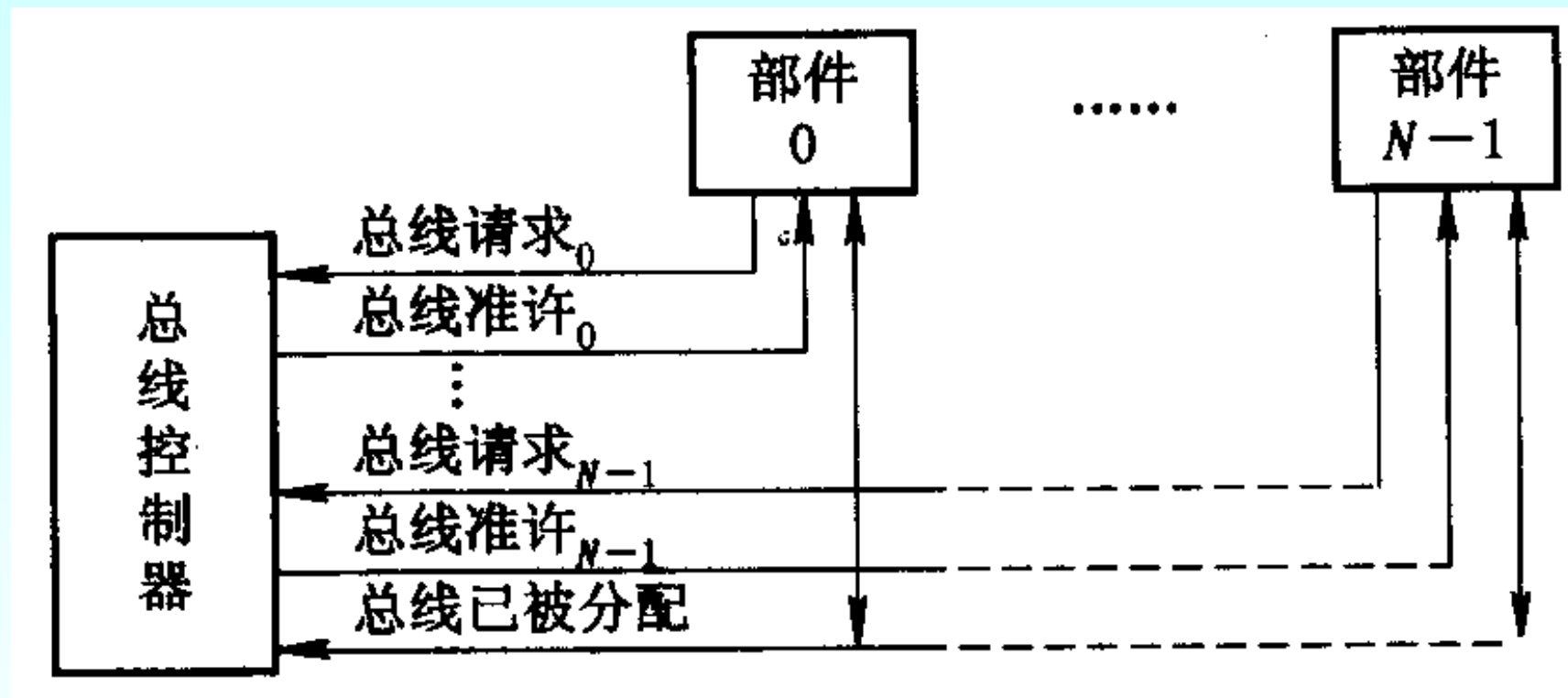


图 3.4 集中式独立请求



3.3 总线设计

2. 总线的分布仲裁方式

分布仲裁方式不需要中央仲裁器，即总线控制逻辑分散在连接于总线上的各个部件或设备中。连接到总线上的主方可以启动一个总线周期，而从方只能响应主方的请求。每次总线操作，只能有一个主方占用总线控制权，但同一时间里可以有一个或多个从方。对多个主设备提出的占用总线请求，一般采用优先级或公平策略进行仲裁。



3.3 总线设计

1. 自举分布式

- 每个设备的优先级固定，需要请求总线控制权的设备在各自对应的总线请求线上送出请求信号。在总线仲裁期间，每个设备通过取回的信息能够检测出其他比自己优先级高的设备是否发出了总线请求，如果没有，则立即使用总线，并通过总线忙信号阻止其他设备使用总线；如果一个设备在发出总线请求的同时，检测到其他优先级更高的设备也请求使用总线，则本设备不能马上使用总线。



3.3 总线设计

2. 冲突检测分布式

- 当某个设备要使用总线时，首先检查是否有其他设备正在使用总线，如果没有，则它就置总线忙，并直接使用总线。若两个设备同时检测到总线空闲，那它们可能都会立即使用总线，从而发生冲突。因此，每个设备在使用过程中，会侦听总线以检测是否发生冲突，当发生冲突，两个设备都会停止传输，延迟一个随机时间之后再重新使用总线，以避免冲突。一般用在网络通信总线上，**Ethernet**就是使用该方案。



3.3 总线设计

3. 并行竞争分布式

- 这是一种较复杂但有效的裁决方案。其基本思想是：总线上的每个设备都有一个唯一的仲裁号，需要使用总线的主控设备把自己的仲裁号发送到仲裁线上，这个仲裁号将用在并行竞争算法中。每个设备根据仲裁算法决定在一定时间段后占用总线还是撤销仲裁号。

