

第八章 互联及输入输出组织 答案

- 2 (7) (8) (10) (省略) 3、4、5、6、8、10、12、13 、14
3. 假定一个政府机构同时监控 100 路移动电话的通话消息，通话消息被分时复用到一个带宽为 4MBps 的网络上，复用使得每传送 1KB 的通话消息需额外开销 150 μ s，若通话消息的采样频率为 4KHz，每个样本的量化值占 16 位，要求计算每个通话消息的传输时间，并判断该网络带宽能否支持同时监控 100 路通话消息？

参考答案：

每路移动电话 1 秒钟所要传输的数据量： $4000\text{HZ} \times (16/8)\text{B} = 8000\text{B} = 7.8125\text{KB}$

该网络传输 1KB 数据所需要的时间为： $150\mu\text{s} + (1\text{KB} \div 4\text{MB}) = 406\mu\text{s}$

所以该网络实际传输 100 路移动电话所需时间为： $406\mu\text{s} \times 7.8125\text{KB} \times 100 = 0.317\text{s}$

因为 0.317s 小于 1s，故该网络带宽可支持同时监控 100 路通话消息。

4. 假定一个程序重复完成将磁盘上一个 4KB 的数据块读出，进行相应处理后，写回到磁盘的另外一个数据区。各数据块内信息在磁盘上连续存放，并随机地位于磁盘的一个磁道上。磁盘转速为 7200RPM，平均寻道时间为 10ms，磁盘最大数据传输率为 40MBps，磁盘控制器的开销为 2ms，没有其他程序使用磁盘和处理器，并且磁盘读写操作和磁盘数据的处理时间不重叠。若程序对磁盘数据的处理需要 20000 个时钟周期，处理器时钟频率为 500MHz，则该程序完成一次数据块“读出-处理-写回”操作所需的时间为多少？每秒钟可以完成多少次这样的数据块操作？

参考答案：

磁盘转一圈的时间为 $10^3 / (7200/60) = 8.33\text{ms}$ ，故平均旋转等待时间为 $8.33/2 = 4.17\text{ms}$ 。

数据传输时间： $10^3 \times 4\text{KB} / 40\text{MBps} = 0.1024\text{ms}$

平均存取时间 T：控制器开销 + 寻道时间 + 旋转等待时间 + 数据传输时间
 $= 2\text{ms} + 10\text{ms} + 4.17\text{ms} + 0.1024\text{ms} = 16.27\text{ms}$

数据块的处理时间： $20000 / 500\text{MHz} = 0.038\text{ms}$

完成一次数据块的“读出-处理-写回”操作时间： $16.27\text{ms} \times 2 + 0.038\text{ms} = 32.578\text{ms}$

每秒中可以完成这样的数据块操作次数： $1000\text{ms} / 32.578\text{ms} = 30$ 次

5. 假定主存和磁盘存储器之间连接的同步总线具有以下特性：支持 4 字块和 16 字块两种长度（字长 32 位）的突发传送，总线时钟频率为 200MHz，总线宽度为 64 位，每个 64 位数据的传送需 1 个时钟周期，向主存发送一个地址需要 1 个时钟周期，每个总线事务之间有 2 个空闲时钟周期。若访问主存时最初四个字的存取时间为 200ns，随后每存取一个四字的时间是 20ns，磁盘的数据传输率为 5MBps，则在 4 字块和 16 字块两种传输方式下，该总线上分别最多可有多少个磁盘同时进行传输？

参考答案：

由第 8 章题 9 可知，在 4 字传输方式下，总线的数据传输率为 71.11MB/s，因为 $71.11/5 = 14.2$ ，所以，该总线上最多可以有 14 个磁盘同时进行传输。在 16 字传输方式下，总线的数据传输率为 224.56MB/s，因为 $224.56/5 = 44.9$ ，因此，此时该总线上最多可以有 44 个磁盘同时进行传输。

6. 假定有两个用来存储 10TB 数据的 RAID 系统。系统 A 使用 RAID1 技术，系统 B 使用 RAID5 技术。

- (1) 系统 A 需要比系统 B 多用多少存储量？
- (2) 假定一个应用需要向磁盘写入一块数据，若磁盘读或写一块数据的时间为 30ms，则最坏情况下，在系统 A 和系统 B 上写入一块数据分别需要多长时间？
- (3) 那个系统更可靠？为什么？

参考答案：

(1) 系统 A 使用 RAID 1 技术，采用磁盘镜像方式存储，所以，所用磁盘容量为 $10+10=20\text{TB}$ 。系统 B 使用 RAID 5 技术，采用一个奇偶校验盘，假设使用 5 个磁盘阵列，那么 10TB 的数据需要 2.5TB 来存放冗余的奇偶校验数据，所以系统 A 比系统 B 多用 7.5TB 存储容量。

(2) 系统 A 的写入速度取决于两个磁盘中速度慢的那个，因为所有盘写一块数据的时间都是 30ms，故系统 A 写入一块数据的时间是 30ms。对于系统 B，最坏的情况下，写一块数据的时间为 2 次读和 2 次写，即所用时间为 $4 \times 30 = 120\text{ms}$ 。

(3) 系统 A 更可靠，因为系统对整个磁盘都进行了备份，所以即使所有的数据都损坏了也可以恢复，而系统 B 只是记录了部分冗余信息，如果两个磁盘的相同位都损坏了就恢复不出来了。

8. 某终端通过 RS-232 串行通信接口与主机相连，采用起止式异步通信方式，若传输速率为 1200 波特，采用两相调制技术。通信协议为 8 位数据、无校验位、停止位为 1 位。则传送一个字节所需时间约为多少？若传输速度为 2400 波特，停止位为 2 位，其他不变，则传输一个字节的时间为多少？

参考答案：

采用两相调制技术，所以，波特率=比特率

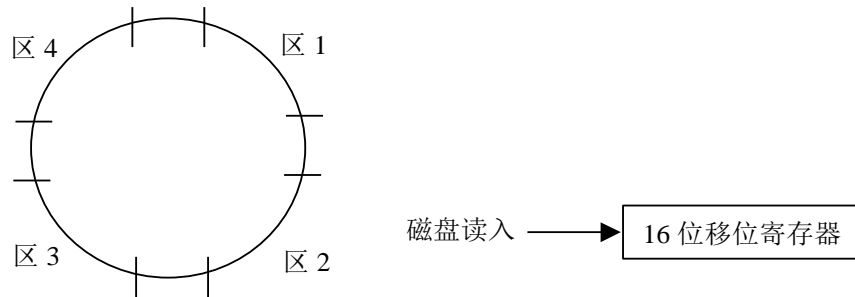
(a) 1200 波特时，一个字符共占： $1+8+1=10$ 位

所以一个字符所需时间约为： $10 \times (1/1200) = 8.3$ 毫秒

(b) 2400 波特时，一个字符共占： $1+8+2=11$ 位

所以一个字符所需时间约为： $11 \times (1/2400) = 4.6$ 毫秒

10. 假设有一个磁盘，每面有 200 个磁道，盘面总存储容量为 1.6 兆字节，磁盘旋转一周时间为 25ms，每道有 4 个区，每两个区之间有一个间隙，磁头通过每个间隙需 1.25ms。问：从该磁盘上读取数据时的最大数据传输率是多少（单位为字节/秒）？假如有人为该磁盘设计了一个与计算机之间的接口，如下图所示，磁盘每读出一位，串行送入一个移位寄存器，每当移满 16 位后向处理器发出一个请求交换数据的信号。在处理器响应该请求信号并读取移位寄存器内容的同时，磁盘继续读出一位一位数据并串行送入移位寄存器，如此继续工作。已知处理器在接到请求交换的信号以后，最长响应时间是 3 微秒，这样设计的接口能否正确工作？若不能则应如何改进？



参考答案:

每个磁道的存储容量: $1.6 \times 10^6 \div 200 = 8000\text{B}$

区容量: $1.6 \times 10^6 \div (4 \times 200) = 2000\text{B}$

区时间: $(25 - 1.25 \times 4) \div 4 \text{ ms} = 5\text{ms}$

最大数据传输率: $2000\text{B} \div 5\text{ms} = 4 \times 10^5 \text{ 字节/秒}$

因此, 传送 1 位的时间为: $10^6 \div (8 \times 4 \times 10^5) = 0.31 \text{ 微秒} < 3 \text{ 微秒}$

因为传送 1 位的时间小于 3 微秒, 所以这样的设计接口不能正确工作。

而传送一个字 (16 位) 需 $2 \div (4 \times 10^5) = 5 \text{ 微秒} > 3 \text{ 微秒}$, 所以可以增加一个 16 位数据缓冲器。当 16 位移位寄存器装满后, 送入数据缓冲寄存器, 再读出下一个 16 位数据期间 (5 微秒), 上次读出的 16 位数据从数缓器中被取走 (3 微秒)。

12. 假定某计算机的 CPU 主频为 500MHz, 所连接的某个外设的最大数据传输率为 20kBps, 该外设接口中有一个 16 位的数据缓存器, 相应的中断服务程序的执行时间为 500 个时钟周期, 则是否可以用中断方式进行该外设的输入输出?

假定该外设的最大数据传输率改为 2MBps, 则是否可以用中断方式进行该外设的输入输出?

参考答案:

- (1) 因为该外设接口中有一个 16 位数据缓存器, 所以, 若用中断方式进行输入/输出的话, 可以每 16 位数据进行一次中断请求, 因此, 中断请求的时间间隔为 $10^6 \times 2\text{B} / 20\text{kB} = 100\mu\text{s}$ 。

对应的中断服务程序的执行时间为 $(10^6 / 500\text{M}) \times 500 = 1\mu\text{s}$, 因为中断响应过程就是执行一条隐指令的过程, 所用时间相对于中断处理时间 (即执行中断服务程序的时间) 而言, 几乎可以忽略不计, 因而整个中断响应并处理的时间大约 $1\mu\text{s}$ 多一点, 远远小于中断请求的间隔时间。因此, 可以用中断方式进行该外设的输入输出。

若用中断方式进行该设备的输入/输出, 则该设备持续工作期间, CPU 用于该设备进行输入/输出的时间占整个 CPU 时间的百分比大约为 $1/100 = 1\%$ (也可以通过考察 1 秒钟内 500M 个时钟周期中有多少时钟周期用于中断来计算百分比, 其计算公式为 $((10^6 / 100) \times 500) / 500\text{M} = 1\%$)。

- (2) 若外设的最大传输率为 2MBps, 则中断请求的时间间隔为 $10^6 \times 2\text{B} / 2\text{MB} = 1\mu\text{s}$ 。而整个

中断响应并处理的时间大约 $1\mu s$ 多一点，中断请求的间隔时间小于中断响应和处理时间，也即中断处理还未结束就会有该外设新的中断到来，所以不可以用中断方式进行该外设的输入输出。

13. 若某计算机有 5 级中断，中断响应优先级为 $1>2>3>4>5$ ，而中断处理优先级为 $1>4>5>2>3$ 。要求：

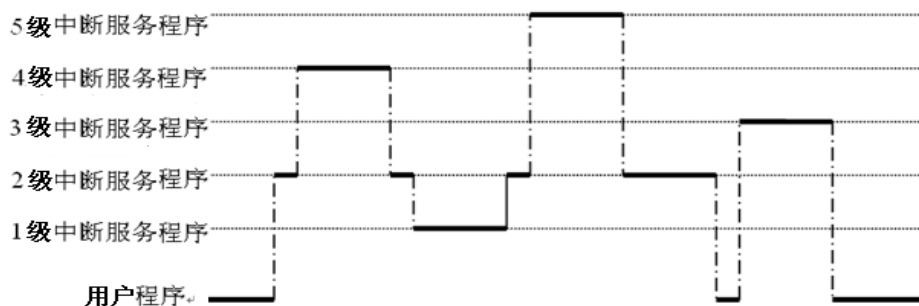
- (1) 设计各级中断处理程序的中断屏蔽位(假设 1 为屏蔽，0 为开放)；
- (2) 若在运行主程序时，同时出现第 2、4 级中断请求，而在处理第 2 级中断过程中，又同时出现 1、3、5 级中断请求，试画出此程序运行过程示意图。

参考答案：

- (1) 由题意可知，1 级中断的处理优先级最高，说明 1 级中断对其他所有中断都屏蔽，其屏蔽字为全 1；3 级中断的处理优先级最低，所以除了 3 级中断本身之外，对其他中断全都开放，其屏蔽字为 00100。以此类推，得到所有各级中断的中断服务程序中设置的中断屏蔽字如下表所示。

中断处理程序	中断屏蔽字				
	第 1 号 (级)	第 2 号 (级)	第 3 号 (级)	第 4 号 (级)	第 5 号 (级)
第 1 号中断源	1	1	1	1	1
第 2 号中断源	0	1	1	0	0
第 3 号中断源	0	0	1	0	0
第 4 号中断源	0	1	1	1	1
第 5 号中断源	0	1	1	0	1

- (2) 在运行用户程序时，同时出现 2、4 级，因为用户程序对所有中断都开放，所以，在中断响应优先级排队电路中，有 2、4 两级中断进行排队判优，根据中断响应优先级 $2>4$ ，因此先响应 2 级中断。在 CPU 执行 2 级中断服务程序过程中，首先保护现场、保护旧屏蔽字、设置新的屏蔽字 01100，然后，在具体中断处理前先开中断。一旦开中断，则马上响应 4 级中断，因为 2 级中断屏蔽字中对 4 级中断的屏蔽位是 0，也即对 4 级中断是开放的。在执行 4 级中断结束后，回到 2 级中断服务程序执行；在具体处理 2 级中断过程中，同时发生了 1、3、5 级中断，因为 2 级中断对 1、5 级中断开放，对 3 级中断屏蔽，所以只有 1 和 5 两级中断进行排队判优，根据中断响应优先级 $1>5$ ，所以先响应 1 级中断。因为 1 级中断处理优先级最高，所以在其处理过程中不会响应任何新的中断请求，直到 1 级中断处理结束，然后返回 2 级中断；因为 2 级中断对 5 级中断开放，所以在 2 级中服务程序中执行一条指令后，又转去执行 5 级中断服务程序，执行完后回到 2 级中断，在 2 级中断服务程序执行过程中，虽然 3 级中断有请求，但是，因为 2 级中断对 3 级中断不开放，所以，3 级中断一直得不到响应。直到 2 级中断处理完回到用户程序，才能响应并处理 3 级中断。CPU 运行过程如下图所示。



14. 假定某计算机字长 16 位，没有 cache，运算器一次定点加法时间等于 100 毫微秒，配置的磁盘旋转速度为每分钟 3000 转，每个磁道上记录两个数据块，每一块有 8000 个字节，两个数据块之间间隙的越过时间为 2 毫秒，主存周期为 500 毫微秒，存储器总线宽度为 16 位，总线带宽为 4MBps。

- (1) 磁盘读写数据时的最大数据传输率是多少？
- (2) 当磁盘按最大数据传输率与主机交换数据时，主存频带空闲百分比是多少？
- (3) 直接寻址的“存储器-存储器”SS 型加法指令在无磁盘 I/O 操作干扰时的执行时间为多少？当磁盘 I/O 操作与一连串这种 SS 型加法指令执行同时进行，则这种 SS 型加法指令的最快和最慢执行时间各是多少？（假定采用多周期处理器方式，CPU 时钟周期等于主存周期）

参考答案：

(1) 磁盘旋转一周所需时间为 $60 \times 10^3 / 3000 = 20\text{ms}$ ，单个数据块的传输时间为 $(20\text{ms}/2) - 2\text{ms} = 8\text{ms}$ ，所以最大数据传输率为 $8000\text{B}/8\text{ms} = 1\text{MBps}$ 。平均数据传输率为 $2 \times 8000\text{B}/20\text{ms} = 0.8\text{MBps}$ 。

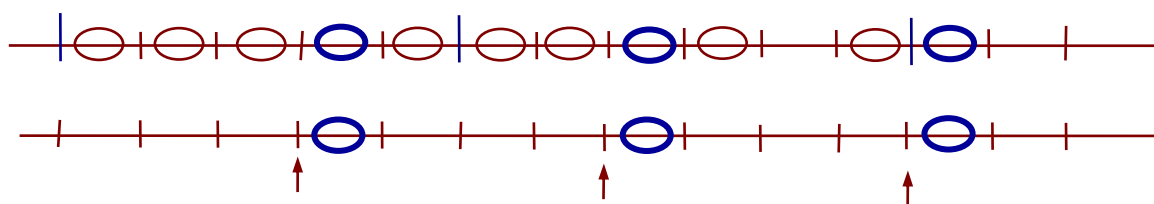
(2) 磁盘最大数据传输率为 1MBps，存储器总线宽度为 16bit=2B，故每隔 $10^9 \times 2\text{B}/1\text{MB} = 2000\text{ns}$ 产生一个 DMA 请求，即每 $2000\text{ns}/500\text{ns} = 4$ 个主存周期中有一个被 DMA 挪用，此时，CPU 没有访问主存，因此，4 个主存周期中有 3 个空闲，故主存频带空闲百分比是 75%，如下图所示。图中箭头处开始的一个主存周期被 DMA 挪用。



(3) 无 I/O 干扰时，执行一条直接寻址的 SS 型加法指令的过程如下图所示，包括取指令、取源操作数 1、取目操作数（源操作数 2）、执行、写结果，因此执行时间为 $5 \times 500\text{ns} = 2.5 \mu\text{s}$ 。此时，每个指令周期所包含的 5 个时钟周期中，只有执行阶段不访问主存，所以主存频带空闲百分比是 20%。



当磁盘 I/O 操作与一连串这种 SS 型加法指令同时进行，可能因为 CPU 和 DMA 同时访存而使指令的执行时间被延长。每次 DMA 请求要求挪用一個主存周期来访问主存，同时，CPU 执行指令时也要求访问主存，当两者发生冲突时，DMA 优先级高，CPU 的访存请求被延迟。因为每隔 2000ns 产生一个 DMA 请求，因此每 4 个主存周期必定有一个被 DMA 所挪用。此时，主存周期的占用情况如下图所示。



由上图可知，最好的情况是在 SS 型加法指令执行过程中没有访存冲突（如上图中最开始的一个指令周期），此时最快，指令执行时间为 $2.5\mu\text{s}$ ；最坏的情况是有一次访存冲突（如上图中第二个指令周期），此时最慢，指令执行时间为 $2.5\mu\text{s} + 500\text{ns} = 3\mu\text{s}$ 。