



南京理工大学

NANJING UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

# 第 6 章

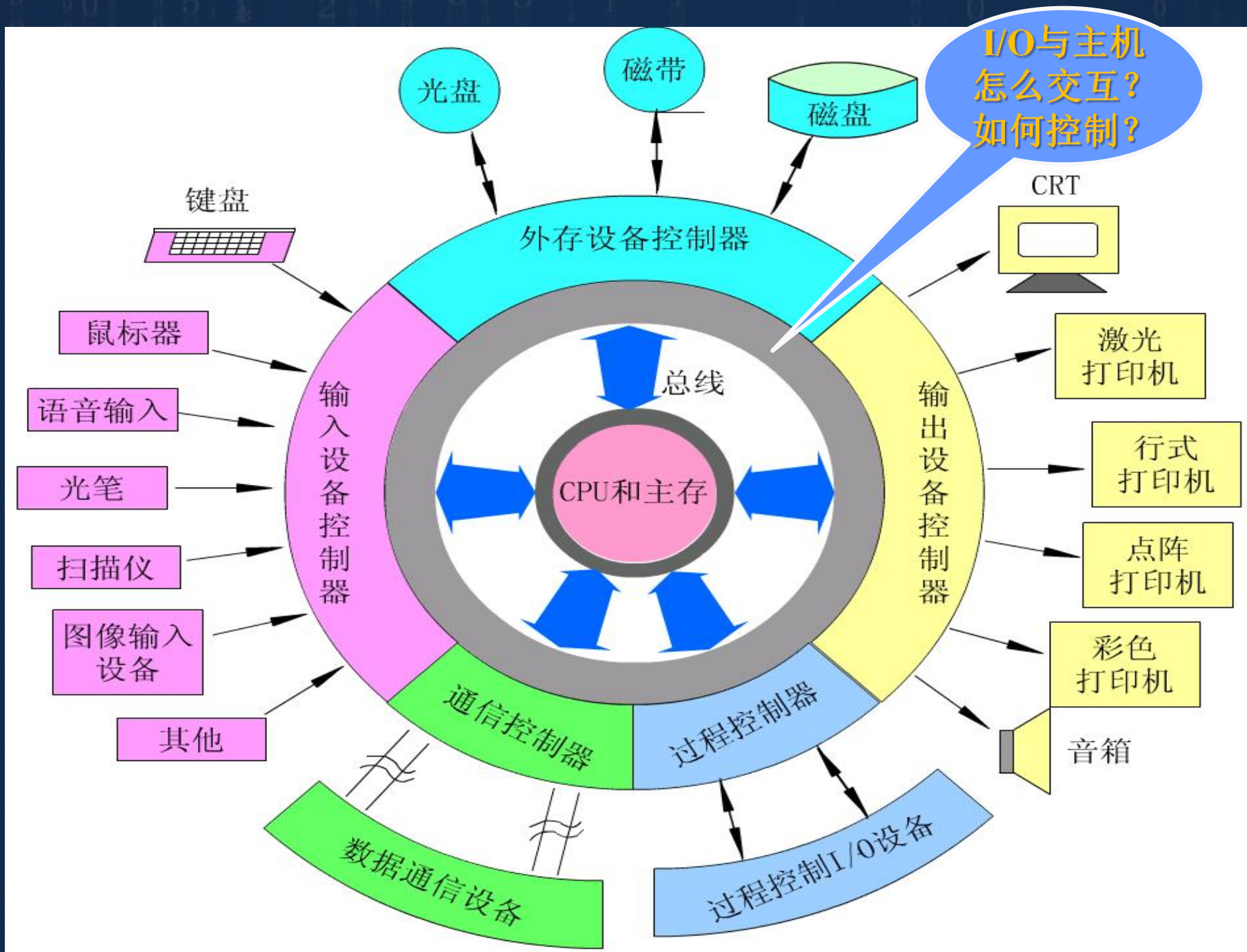
## 总线与I/O

### 系统组织

主讲：张功萱

©第1版 2023.08 张功萱





- **I/O组织与控制:对I/O操作的软、硬件管理。**
- 本章主要从**硬件角度**讨论**I/O组织与控制**, 而从**软件角度**讨论**I/O控制**则是**操作系统(OS由作业管理、进程管理、存储管理、设备管理、文件管理五部分构成)**的主要内容之一。



## 第6.6节

# I/O系统组织概述

1. I/O系统的功能是什么?
2. I/O系统需解决什么问题?
3. 信息传输控制方式是什么?
4. 接口编排与指令有何关系?

- **I/O系统即输入/输出系统，是计算机系统中实现主机与外界数据交换的软、硬件系统。**
- **I/O系统的基本功能：**
- ① 为数据传输操作选择输入/输出设备。
- ② 控制被选的输入/输出设备与主机之间的信息交换。

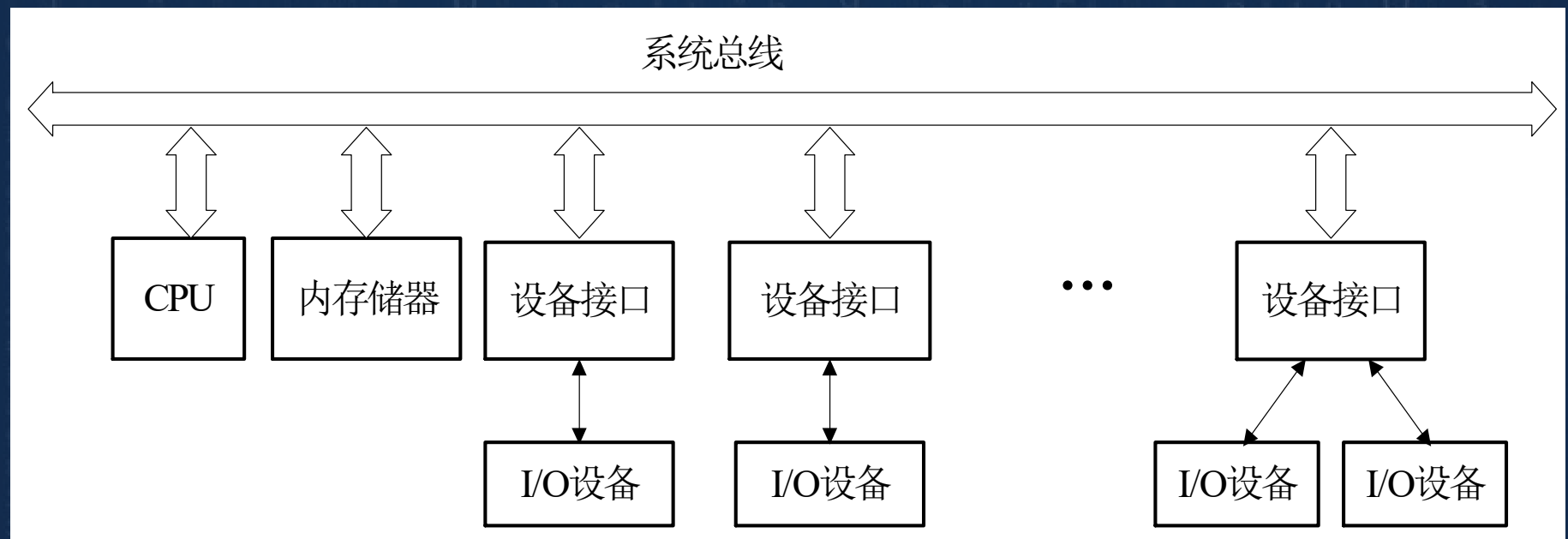


## 6.6.1 I/O系统需解决的主要问题

- **I/O系统**主要用于解决主机与外部设备间的数据交换的问题，使外设与主机能够协调一致地工作。
- **(1)** 使处理机与外设在数据处理的速度上能够相互匹配。  
解决方法：缓冲技术
- **(2)** 使处理机与外设能够并行工作，以提高整个计算机系统的工作效率。  
解决方法：减少处理机对外设的直接控制，甚至处理机不再干预对外设的控制，而交由专门的硬件装置去实现对外部设备的管理与监督。

## 6.6.2 I/O系统的组成

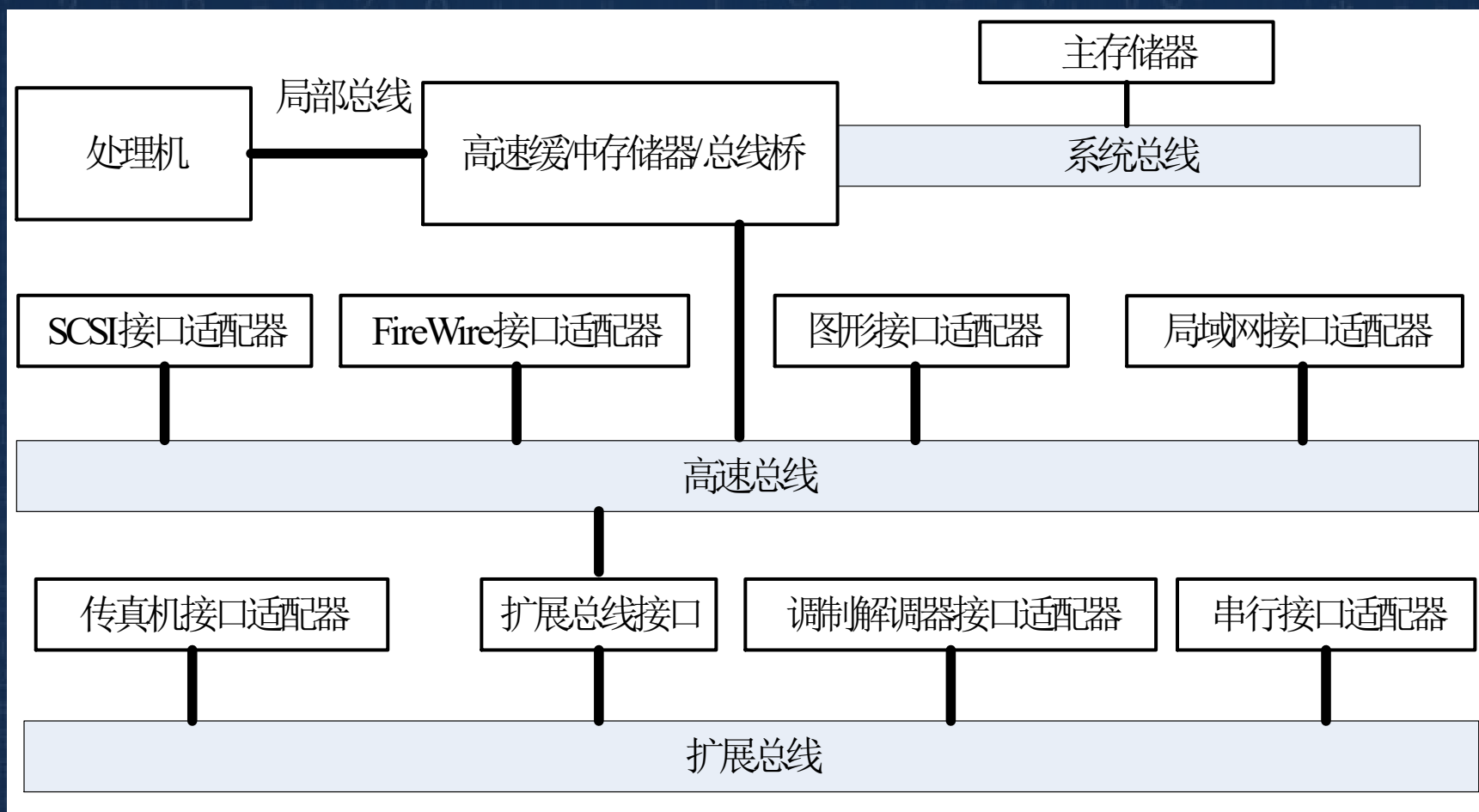
- 典型计算机系统中I/O系统的组成:
- 系统总线、I/O设备接口控制器、I/O设备、相关控制软件。



- 虽然系统总线作为公共信息通路，通常起到连接处理机、主存储器和外设的作用，但实际上外设并不能直接连接到系统总线上，需要通过扩展总线以及**I/O**接口控制器来实现**I/O**设备与主机两者之间的连接。



- 现代计算机系统中**I/O**系统的组成：
- 扩展总线、**I/O**设备接口控制器、**I/O**设备、相关控制软件。



- 扩展总线及**I/O**接口控制器的作用：
- ① 分流**CPU**和内存之间以及外设和内存之间的数据流
- 现代计算机系统的主机与外设工作速度相差很大，需要分流**CPU**和内存之间以及外设和内存之间的数据流，因此需要引入扩展总线。
- ② 便于系统实现标准化、模块化。
- 系统总线（也包括扩展总线）中的控制总线通常定义为通用或标准的信号，而具体的**I/O**设备设置的是专用的控制信号，因此需要**I/O**接口控制器进行信号的转换。



- **I/O设备控制接口的发展趋势**

- 在现代计算机系统中，许多**I/O**设备的控制器中（比如磁盘控制器、激光打印机）往往会采用专用的微处理器对有关设备进行控制，使用相应的设备控制程序。
- 因此传统的单纯由**硬件电路**实现的**I/O**设备控制接口，逐渐演变为由**软、硬件相互配合**的**I/O**设备控制接口。

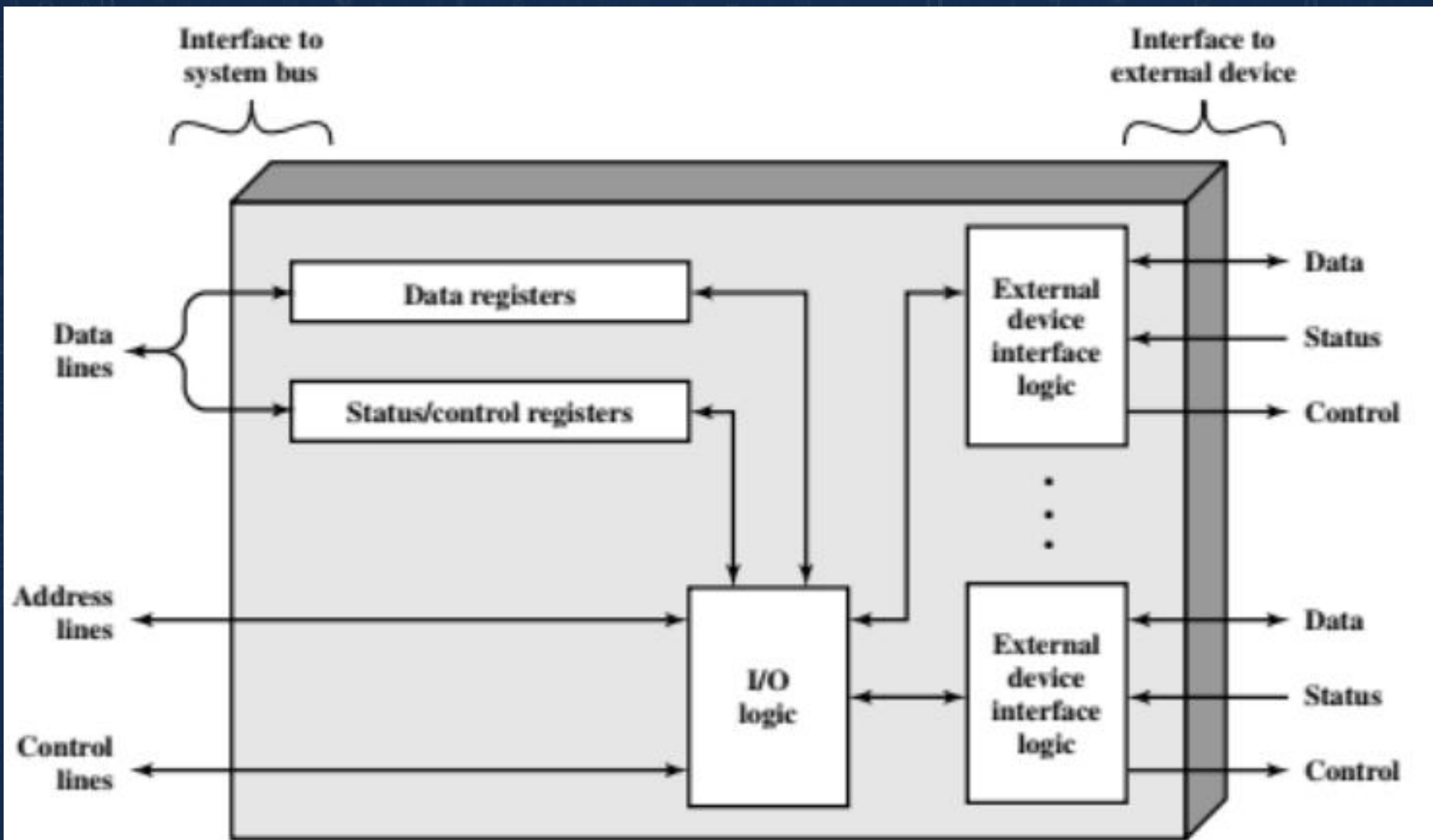
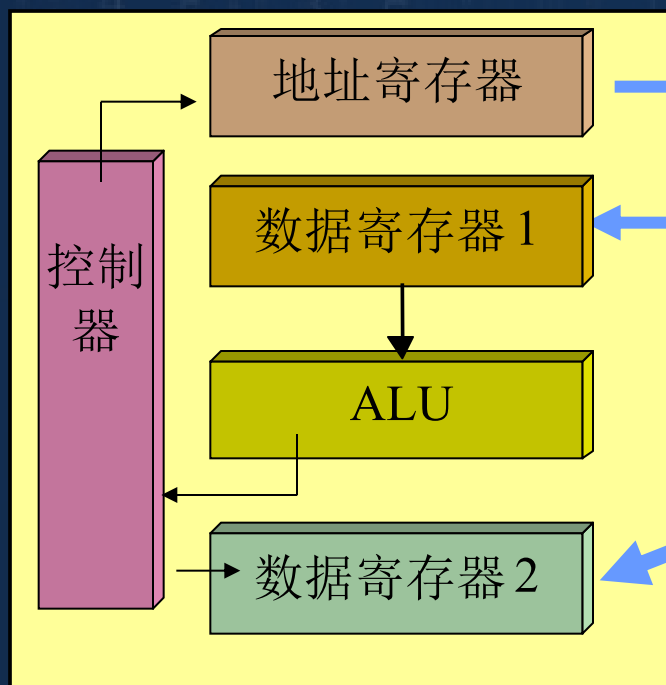


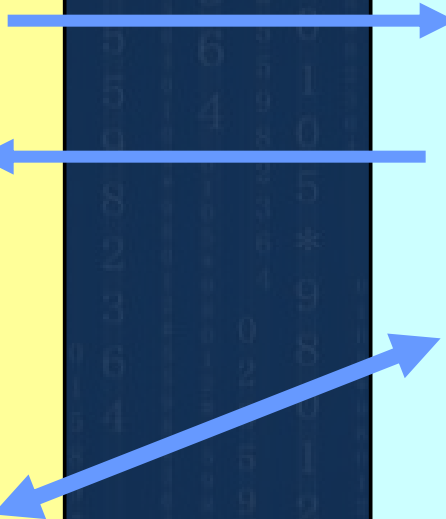
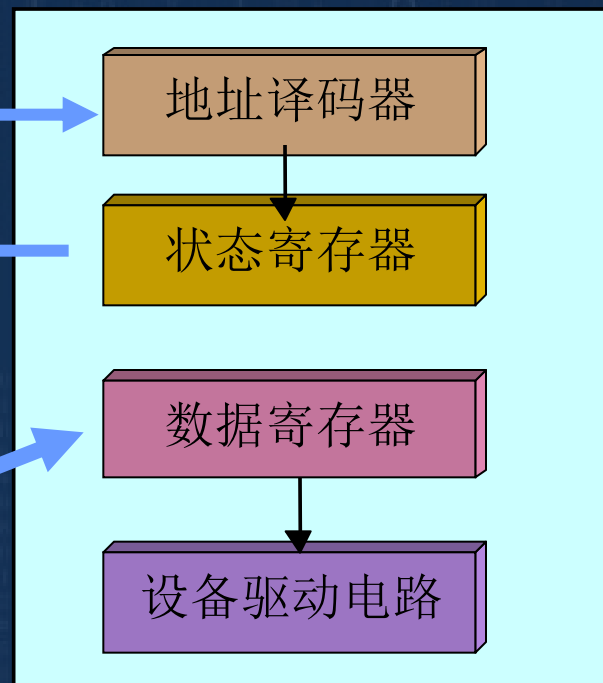
Figure 7.3 Block Diagram of an I/O Module



## CPU



## 设备接口



## 6.6.3 主机与外设间的连接与组织管理

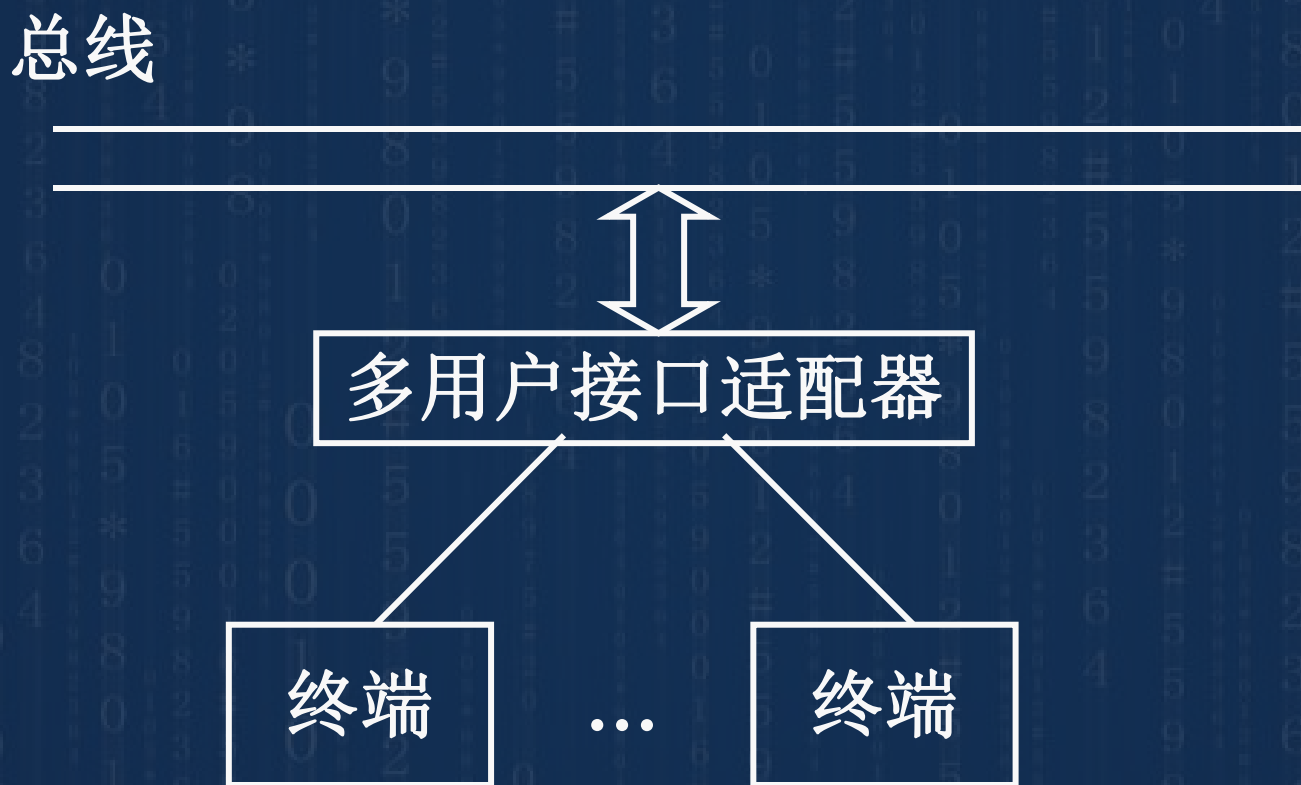
- 主机与外设的连接方式大致可分为:
- 总线方式
- 通道方式（略）
- **I/O处理机方式(IOP方式)**（略）



# 1. 总线型连接方式

- CPU通过系统总线与主存、I/O接口控制器相连接，通过I/O接口控制器实现对外设的控制。
- 总线型连接方式的优点：
  - 系统模块化程度较高，I/O接口扩充方便。
- 总线型连接方式的缺点：
  - 系统中部件之间的信息交换，均依赖于总线，总线成为系统中的速度瓶颈，因而不适于系统需配备有大量外设的场合。

- 有些种类的**I/O**接口控制器可以控制多台**I/O**设备，如多用户卡。这种方式称之为现代星型**I/O**设备的连接方式。





## 2. 通道控制连接方式

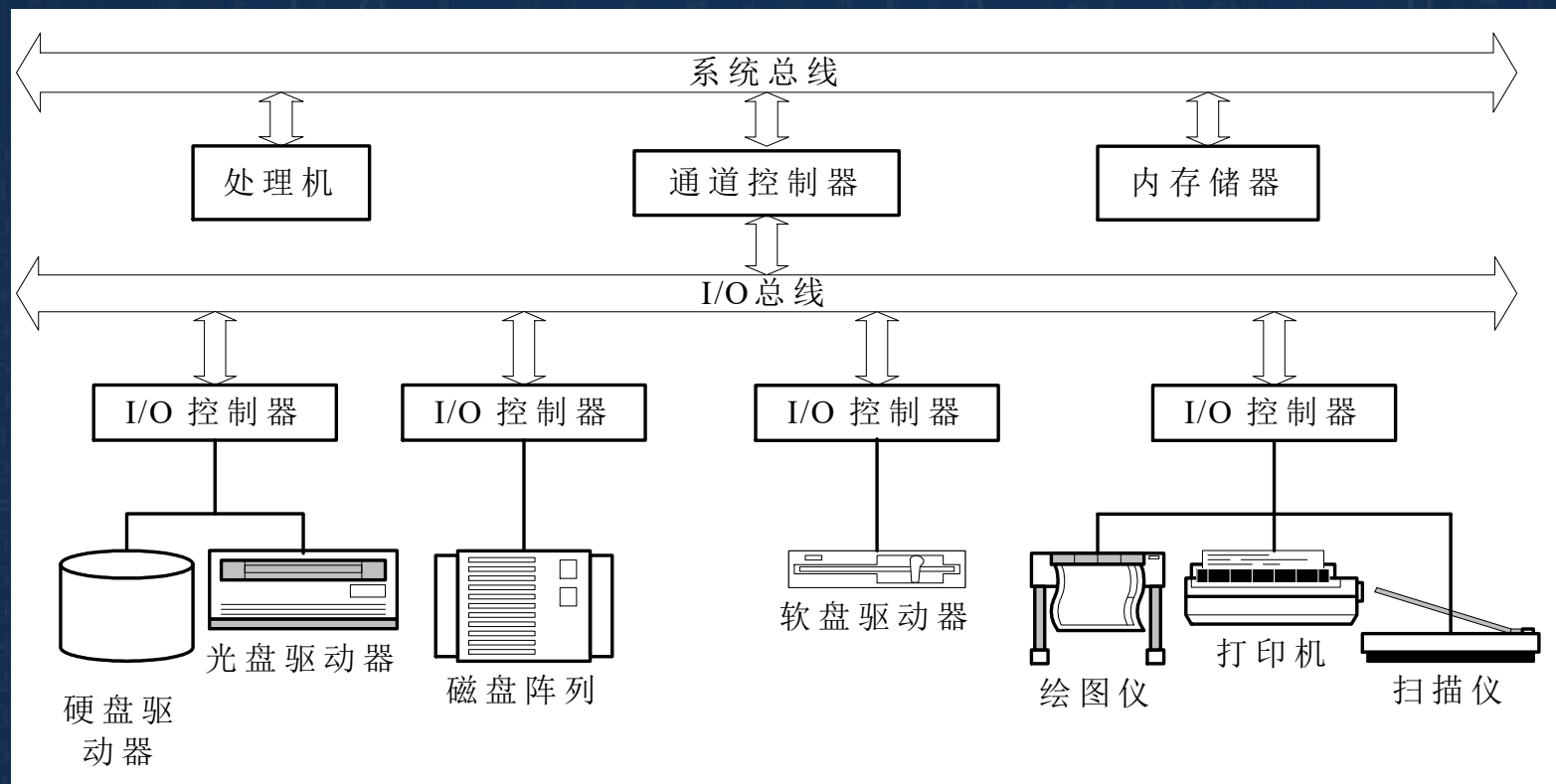
- 通道控制方式
- 由通道控制器执行专门的通道程序，通过**I/O**总线控制接口与外设。
- 通道控制连接方式主要用于连接外设数量多，外设类型多，外设速度差异大的大型主机系统。

# 通道控制器

- 通道控制器是专门负责**I/O**操作的控制器，它执行由专门的通道指令编制并存放在内存之中的通道程序实现对外设的控制。
- 通道控制连接方式下，由通道控制器控制实现主存与外设之间的直接数据交换，**CPU**不再负责具体的**I/O**控制，实现了处理机与通道控制器和外设的并行工作。

# 通道的四级连接方式

- 通道控制器的一端与系统总线相连，另一端控制I/O总线；设备控制器及其所控制的设备连接到I/O总线上，构成了主机、通道、I/O接口（设备控制器）和外设的四级连接方式。





### 3. I/O处理机控制连接方式

- **I/O处理机(IOP)**
- 具有比**I/O**通道更强独立性的专用**CPU**。
- **IOP**有自己的指令系统，可编程控制，适应性强、通用性好。其程序的执行可与**CPU**并行，可使**CPU**彻底摆脱对**I/O**的控制任务。

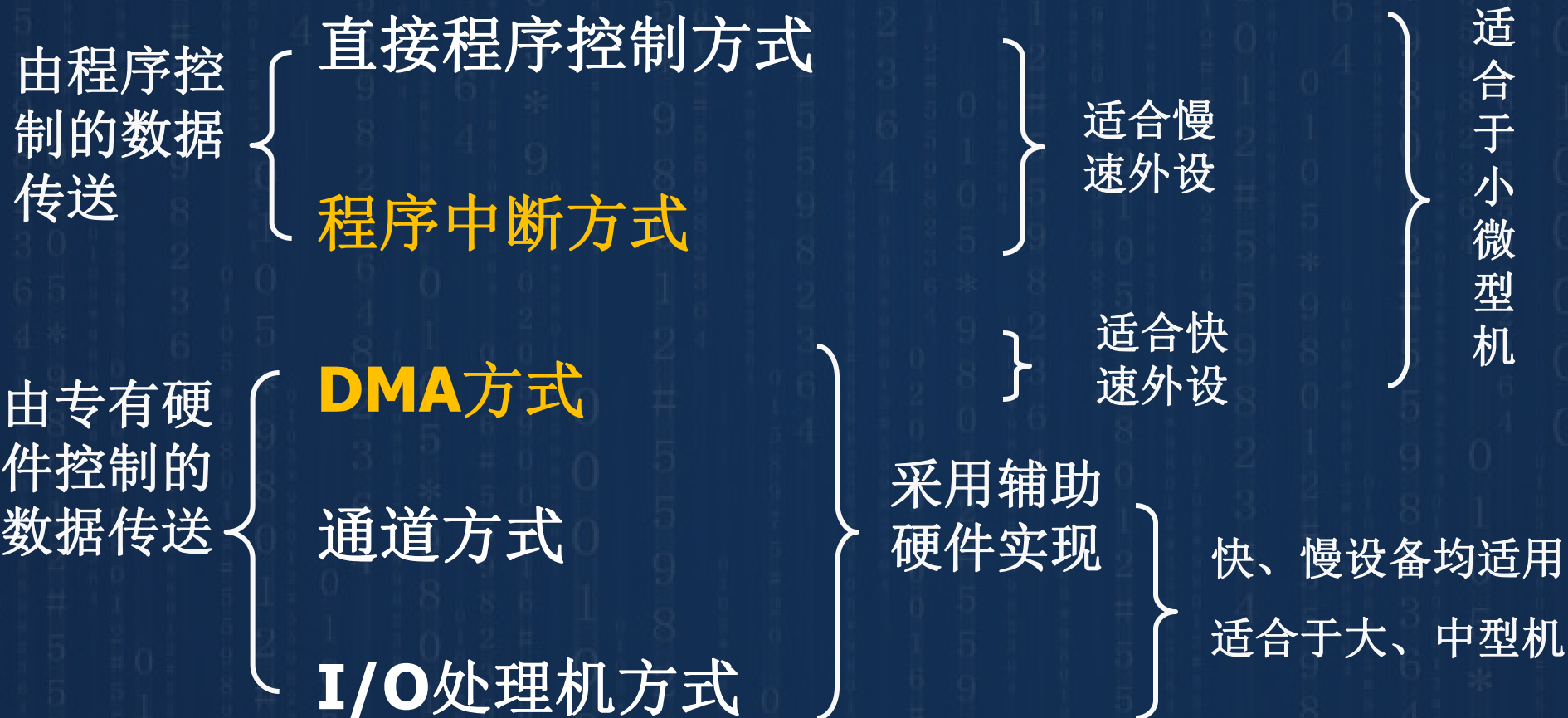
- **IOP**可大可小，大的如在巨型机系统中，**IOP**可为一台通用的小型机或中型计算机，称为**前端处理机**；小的则为一块大规模集成电路芯片，如**Intel**公司为其微处理器(**CPU**)**8086**配套的**IOP—8089**。
- 主机与**I/O**处理机之间可以通过高带宽总线或高速专用互联网络实现互联。

## 6.6.4 I/O数据传送的控制方式

- **I/O数据传送控制方式也称I/O信息交换方式。**
- **I/O数据传送控制方式与主机和外设之间的连接方式有很大的关系，各种方式有不同的适用对象和应用场合，需要相应的硬件来加以支撑。**



- 按**I/O**控制的组织方式和外设与主机并行工作程度以及数据传送的控制方式，对**I/O**数据传送控制分类如下：



# (1) 由程序控制的数据传送

- 这种控制方式是指在主机和设备之间的**I/O**数据传送，需要通过处理机执行具体的**I/O**指令来完成。即由处理机执行所谓的**I/O**程序，实现对整个**I/O**数据传送过程的全程监督与管理。
- 程序控制方式一般在总线型连接方式中采用。
- 由程序控制的数据传送可进一步分为**直接程序控制方式**和**程序中断传送方式**。

## (2) 由专有硬件控制的数据传送

- 这种控制方式需要在系统中设置专门用于控制**I/O**数据传输的硬件装置，处理机只要启动这些装置，就会在它们的控制下完成**I/O**数据传输，因此具体的**I/O**数据传输过程无需处理机的控制。
- 由专有硬件控制的数据传送可具体分为：
  - 直接存储器存取（**DMA**）方式
  - 通道控制方式
  - **I/O**处理机控制方式



# \*三种I/O访问技术

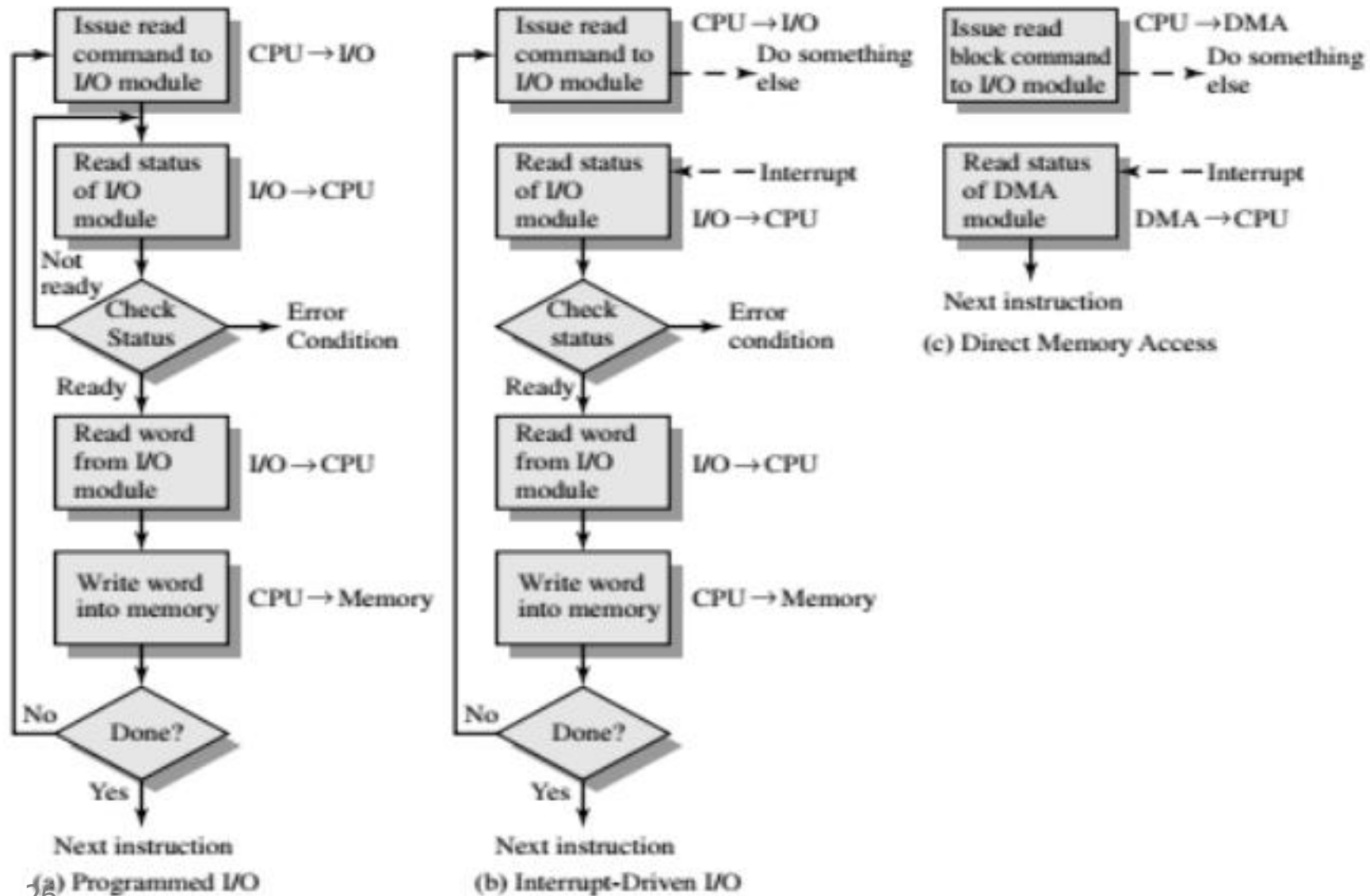


Figure 7.4 Three Techniques for Input of a Block of Data

## 6.6.5 I/O接口的功能与分类

- **接口**：通常指设备(硬件)之间的界面。
- **I/O接口**：主机(系统总线)与外设或其它外部系统之间的接口逻辑。
- 当主机与外设相连时，必须要有相应的接口逻辑部件来解决两者之间的操作同步与协调、工作速度的匹配以及数据格式的转换等问题。
- 在现代计算机中，为实现设备间通讯，需要相应的软硬件技术支持，即接口技术。
- 软件之间交接的部分称为软件接口。
- 硬件与软件相互作用，所涉及到的软件与硬件逻辑，称为软硬接口。
- **I/O接口**也称为输入输出控制器或**I/O**模块。

# 1. I/O接口的基本功能

- **1) 实现数据的传送、缓冲、隔离和锁存。**
- 主机与外设之间传输的数据信息包括数字量、 模拟量、 开关量。
- 数据输入：指外设的数据信息通过外设与接口之间的数据线进入接口，再经由接口送到系统的数据总线。
- 数据输出：指系统的数据信息经过系统数据总线进入接口，再通过接口送到外设。
- 在接口电路中，需要设置一个或几个数据缓冲寄存器（数据锁存器），提供主机与外设之间的数据通路以及数据的缓冲，控制实现主机与外设之间数据传输速度上的匹配。



## 2) 实现信号形式和数据格式转换

- (1) 模拟信号/数字信号之间的转换。
- (2) **ASCII**编码与二进制编码之间的转换。
- (3) 串行数据与并行数据格式之间的转换。
- (4) 电平转换。

### 3) 控制主机与外设之间的通信联络

- 主机与外设之间的通信联络控制包括命令译码、状态字的生成、同步控制、设备选择以及中断控制等等。

- (1) 控制命令信息
- 在外设的工作过程中，**CPU**需要通过控制信息控制外设的工作，如对外设的启动和停止等。
- 主机发给外设的控制命令通常采用命令编码字的格式，而实现对外设控制的物理信号有时需要采用电流、电压等模拟量的形式，因此接口电路需要对主机送来的命令字译码并形成外设所需的信号形式。



- (2) 状态信息

- 状态信息就是反映当前外设所处的工作状态的信息。
- 在与外设进行数据信息的交换时，**CPU**需要通过状态信息了解外设的工作状态。通常外设用准备好（**READY**）信号来表明是否准备就绪；用忙（**BUSY**）信号表示是否处于空闲状态。
- 若外设回送给接口的状态是采用模拟形式的信号，接口就需要对这些信号进行编码形成状态字，以便主机通过读取状态字来了解命令的执行情况。

- **(3) 同步信号**

- 当主机或外设将数据发送到接口后，接口需要给出数据已经“就绪”的信号通知对方可以取走数据进行处理，即需要有同步信号实现同步控制。

- **(4) 设备选择信号**

- 设备选择信号用于指示选中的设备。
- 它通常作为数据选通信号被送到三态门电路的控制端上使三态门电路脱离高阻状态，以便选中的设备可以参与数据交换。因此，每个设备接口中都有一个专门的设备选择电路。

- **(5) 中断及DMA控制逻辑**
- 如果系统中采用中断方式控制主机与外设之间的信息交换，接口中则应有中断控制逻辑。该逻辑负责实现中断请求信号的产生与记录、中断的屏蔽、中断优先级的排队以及生成、发送中断向量码（用来标识中断源及中断类型）等。
- 如果系统中采用的**DMA**方式控制主机与外设之间的信息交换，则接口中就应有**DMA**控制逻辑。该逻辑负责发送**DMA**请求、实现**DMA**优先级的比较、系统总线的申请以及系统总线的接管与释放等。



## 4) 寻址

- 寻址就是识别设备地址，选择指定的设备和**I/O**端口。
- 在一个计算机系统中，通常会连接多个外设，为了对**I/O**设备进行选择，必须给每个设备分配一个或多个地址码，也称为设备号或设备码。

# I/O信息的传送

- 在计算机系统中，数据信息、状态信息和控制信息各不相同，应该分别传送。
- 为了便于处理，将状态信息、控制信息也广义地看成数据信息，通过数据总线来传送。为了区别这三种信息，在接口线路中将它们分别送入不同的寄存器。
- **CPU**同外设之间的信息传送实质上是对相应的寄存器进行“读”或“写”操作。
- **端口**（**Port**或**I/O**端口）：接口中可以由**CPU**进行读或写的寄存器。

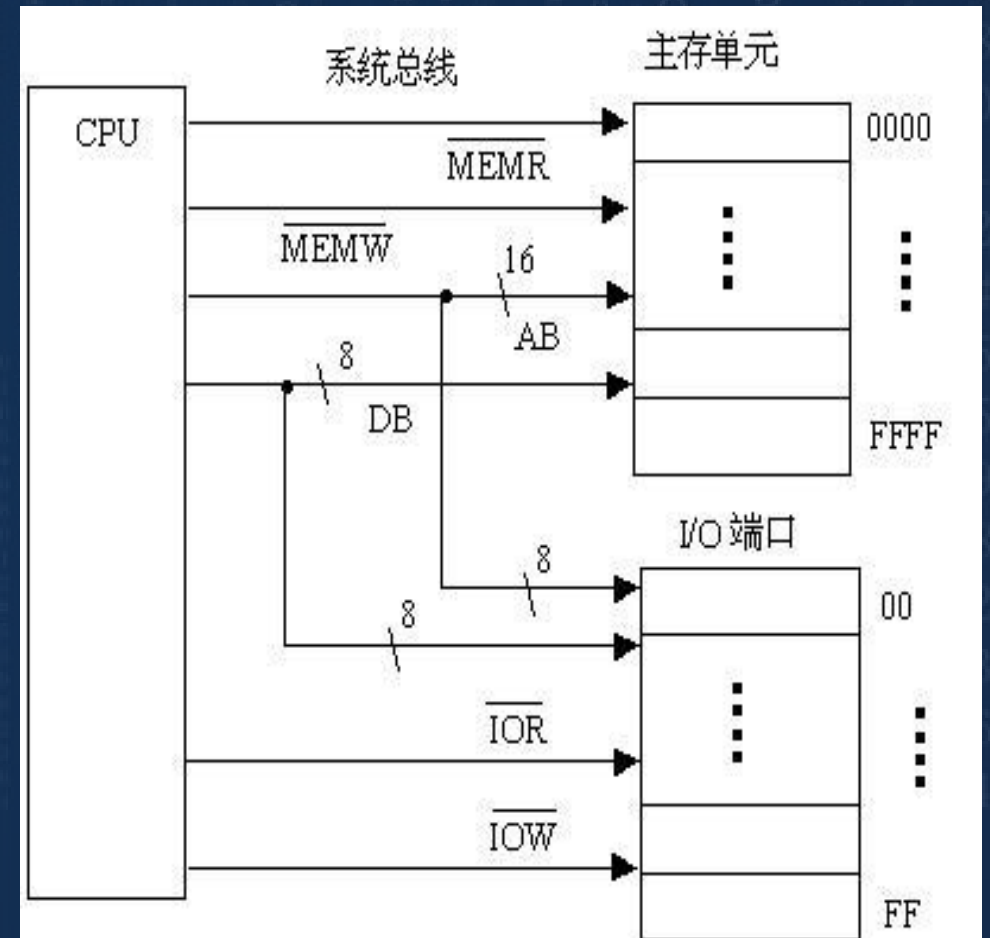
# I/O端口的寻址方式

- 外设是接在相应的**I/O**接口上的，因此主机对设备的寻址实质上就是对**I/O**接口中寄存器的寻址，设备号或设备码实际上就是该设备控制器上某个寄存器的地址，也称为端口地址。
- 对**I/O**设备的寻址实质上就是对**I/O**端口的寻址。



# (1) I/O端口独立编址

- 将I/O端口与存储器单元分别独立进行编址，CPU访问外设时，需使用专门的I/O指令，并需要有与接口电路联系的单独的控制信号。
- 也称为I/O端口寻址输入输出方式。



输入 / 输出设备	占用地址数	地址(16进制)
硬盘控制器	16	320~32F
软盘控制器	8	3F0~3F7
彩色图形显示适配器	16	3D0~3DF
异步通讯控制器	8	3F8~3FF

## IBM PC的I/O地址分配

表 5.1 部分外设的 I/O 地址分配表

输入/出设备	I/O 地址	占用地址数
DMA 控制器 1	000-01FH	32
中断控制器 1	020-03FH	32
定时器/计数器	040-05FH	32
键盘控制器	060-06FH	32
实时时钟, NMI屏蔽寄存器	070-07FH	16
DMA 页面寄存器	080-09FH	32
中断控制器 2	0A0-0BFH	32
DMA 控制器 2	0C0-0DFH	32
硬盘控制器 2	170-177H	8
硬盘控制器 1	1F0-1F8H	9
游戏 I/O 口	200-207H	8
并行打印机口 2	278-27FH	8
串行口 4	2E8-2EFH	8
串行口 2	2F8-2FFH	8
软盘控制器 2	370-377H	8
并行打印机口 1	378-37FH	8
单色显示器/打印适配器	3B0-3BFH	16
彩色/图形监视器适配器	3D0-3DFH	16
串行口 3	3E8-3EFH	8
软盘控制器 1	3F0-3F7H	8
串行口 1	3F8-3FFH	8

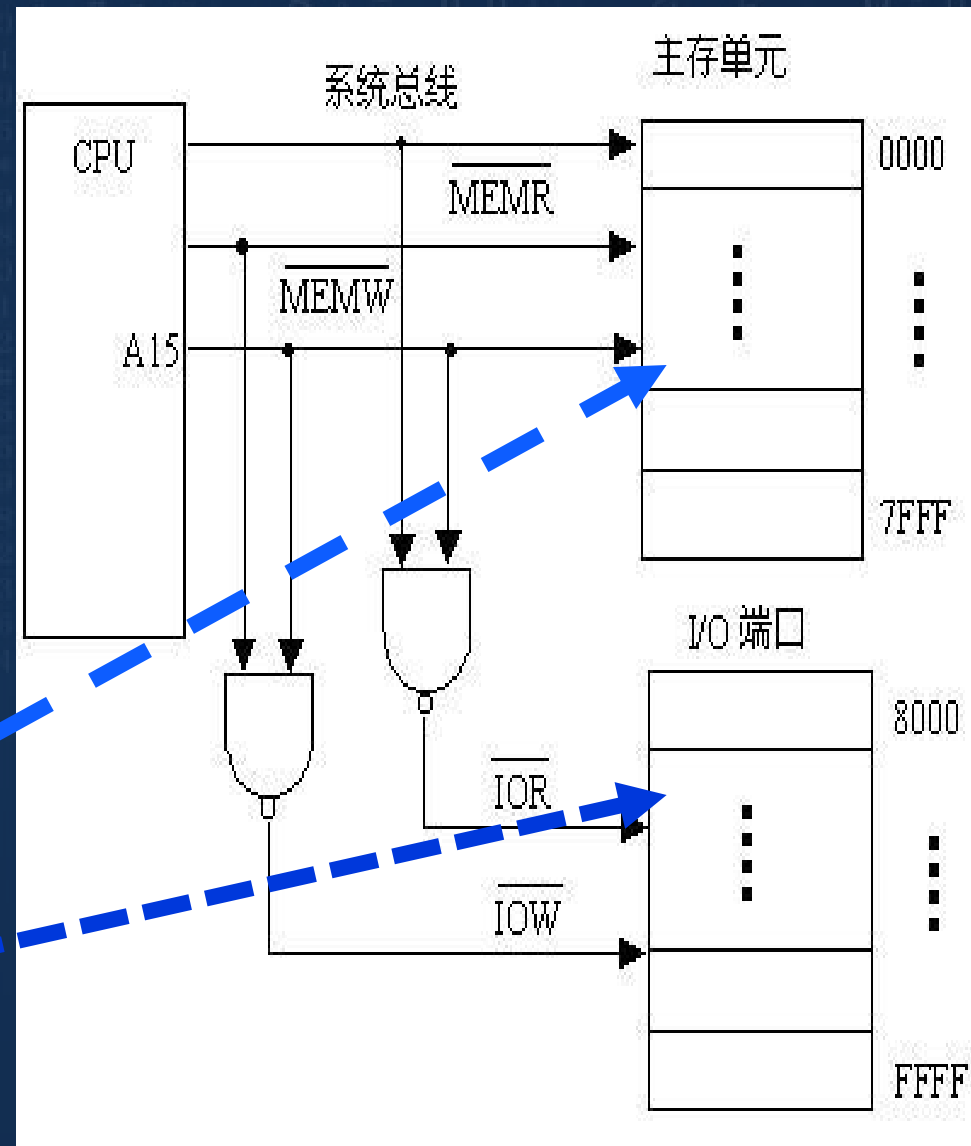
## 奔腾机的I/O地址分配

- **I/O**端口独立编址方式的优点：
  - ① **I/O**端口具有独立的地址空间，不占用内存空间。
  - ② **I/O**指令中的地址字段的长度较短，可以节省指令存储空间和指令执行时间。
  - ③ 由于访问存储器和访问**I/O**端口使用不同的指令，因此编制的程序比较清晰易读。
- **I/O**端口独立编址方式的缺点：
  - **I/O**操作指令的种类通常没有存储器操作指令丰富，设计程序时不够方便。



## (2) I/O端口与主存统一编址

- 将一个I/O端口作为存储器中的一个单元对待，每一个I/O端口占用一个存储器单元地址。编址时将I/O端口与存储器单元一起进行编址。
- 又称为存储器对应的输入输出方式或存储器映像编址方式。

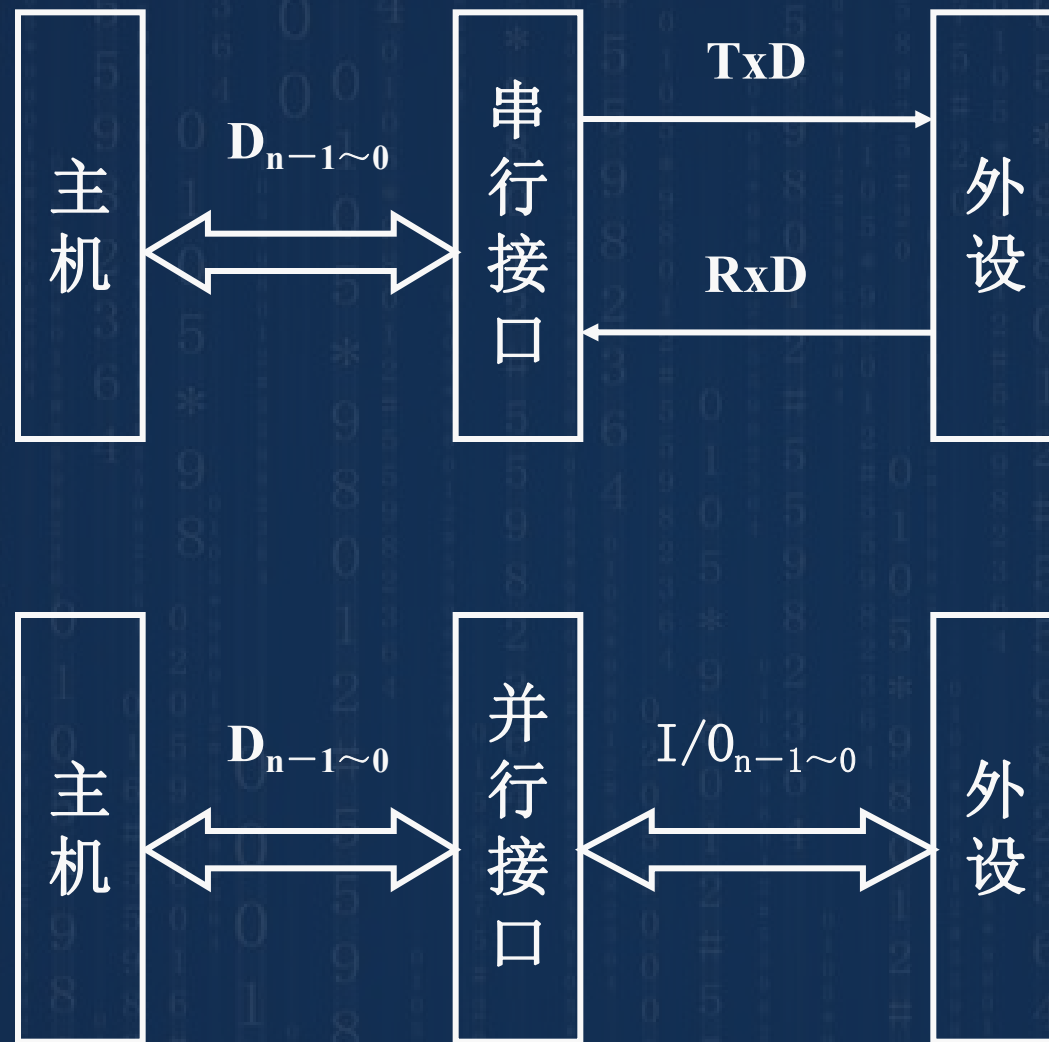


- **I/O**端口与主存统一编址方式的优点：
  - ① **CPU**可使用所有存储器操作指令对**I/O**端口中数据进行操作，十分灵活和方便。
  - ② 不需要用专门的指令及控制信号区分是存储器还是**I/O**操作。使得系统相对简单。
- **I/O**端口与主存统一编址方式存在的问题：
  - ① **I/O**端口占用了内存单元的部分地址空间，使内存容量减小。
  - ② 由于在程序中不易分清指令访问的是存储器还是**I/O**端口，所以采用这种方式编制的程序不易阅读。

## 2. I/O 接口的分类

- 1) 并行接口与串行接口

- **并行接口**：接口与设备之间的信息传送是将一个字或一个字节的所有位同时并行地进行传送的。
- **串行接口**：接口与设备之间的信息传送是逐位串行进行的。





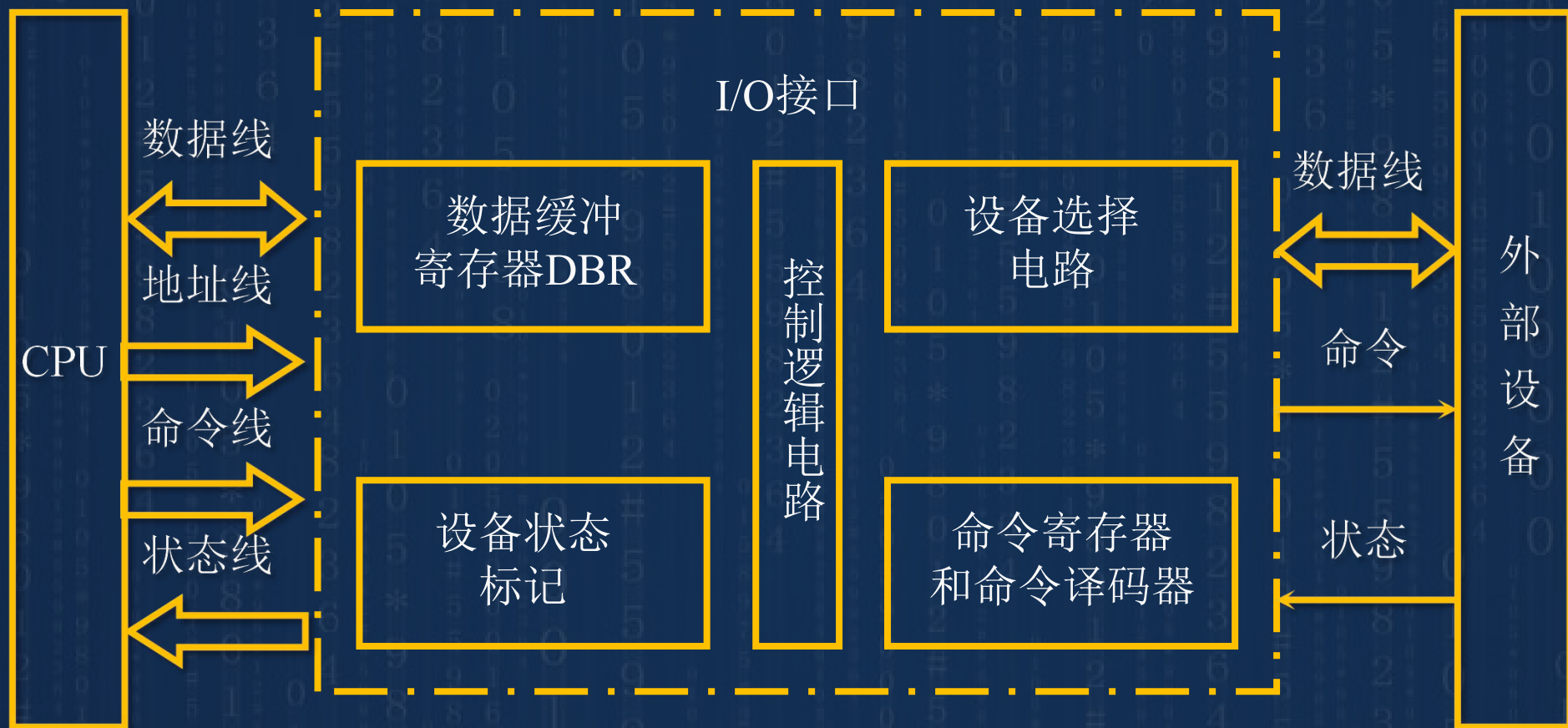
## 2) 同步接口与异步接口

- **同步接口**：一般与同步总线相连，接口与总线采用统一时钟信号，无论CPU与I/O设备，还是存储器与I/O设备交换信息，都与总线同步时钟脉冲同步。
- **异步接口**：与异步总线相连，接口与系统总线之间采用异步应答方式。

### 3) 直接程序控制、程序中断和直接存储器存取接口

- **直接程序控制接口**：采用直接程序控制方式进行信息交换的接口。
- **程序中断接口**：主机与外设以程序中断方式进行信息交换控制的接口。
- **直接存储器存取接口**：以直接存储器存取(**DMA**)方式控制信息传送的接口。

# 接口的基本组成



- (1) **设备选择电路**
  - 用于接收总线传来的地址信息，经译码后，决定选择哪个设备或I/O接口内部的部件。
- (2) **数据缓冲寄存器（数据端口）**
  - 用于存放主机与外设之间要传递的数据信息。
- (3) **命令寄存器（控制端口）**
  - 用于存放主机向外设发送的控制命令。
- (4) **状态寄存器（状态端口）**
  - 用于存放外设或接口的工作状态。
- (5) **其它有关部件**
  - 如中断控制逻辑、DMA控制逻辑以及各类特殊部件。