



第5章 单片机的串行接口





★概述

★单片机串行口的结构与工作原理

★串行口的控制寄存器

★串行口的工作方式

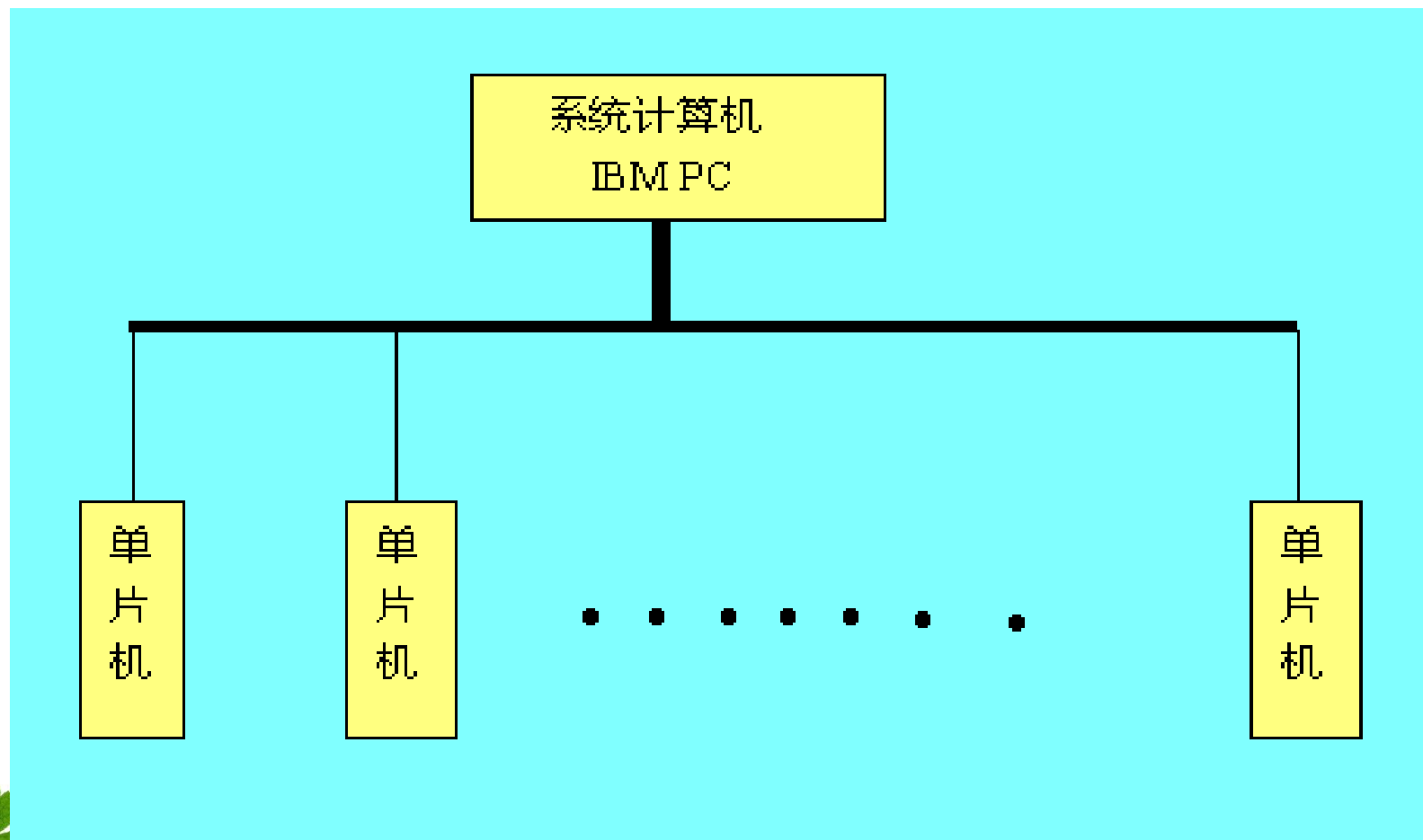
★串行口的应用编程





5.2.1 概 述

单片机应用与数据采集或工业控制时，往往作为前端机安装在工业现场，远离主机，现场数据采用串行通信方式发往主机进行处理，以降低通信成本，提高通信可靠性。如下图所示。





★ 数据通信方式有两种：并行通信与串行通信

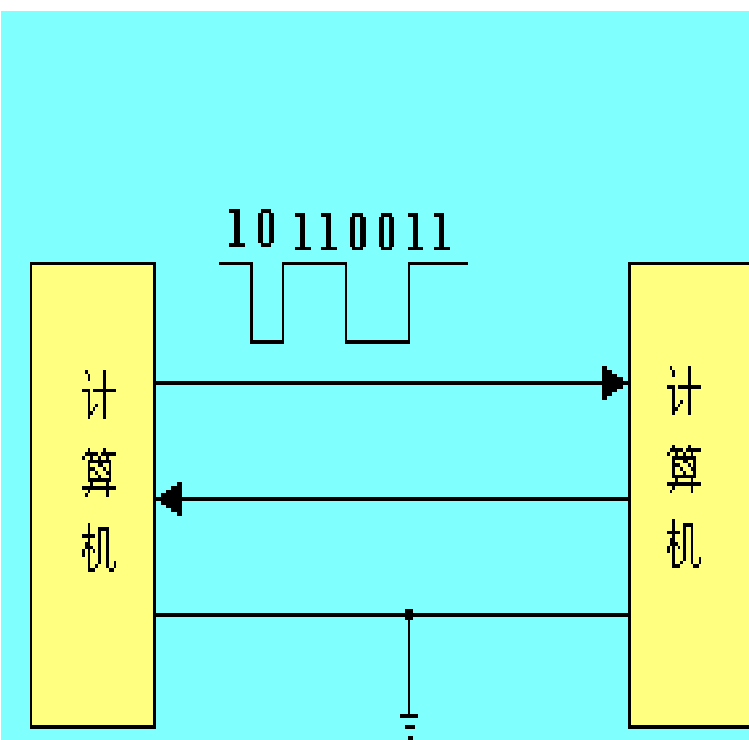
★ 并行通信： 所传送数据的各位同时发送或接收，数据有多少位就需要多少根数据线。

特点： 速度快，成本高，适合近距离传输如计算机并口，打印机，8255。

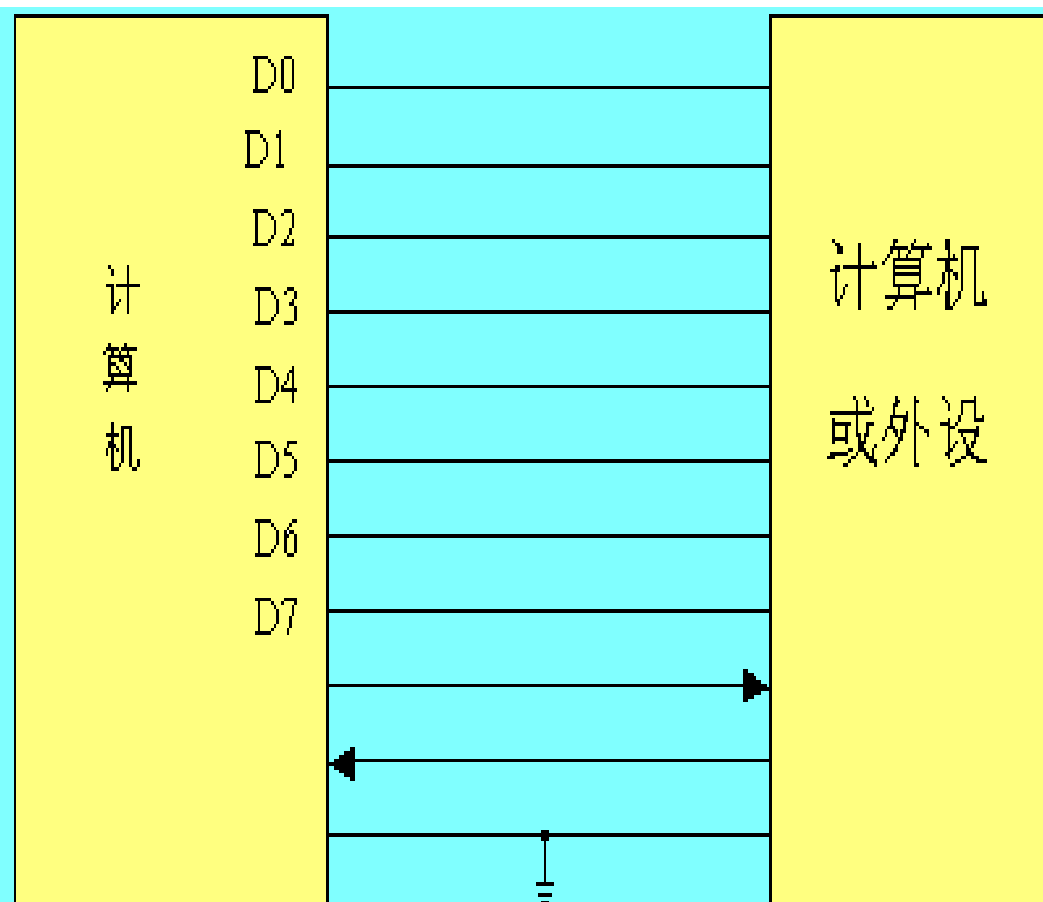
★ 串行通信： 所传送数据的各位按顺序一位一位地发送或接收。只需一根数据，一根地线，共2根（如双向通信发送和接收各需1根数据线。）

特点： 成本低，硬件方便，适合远距离通信，传输速度低。





串行通信示意图



并行通信示意图





★ 串行通信的分类：同步串行通信和异步串行通信

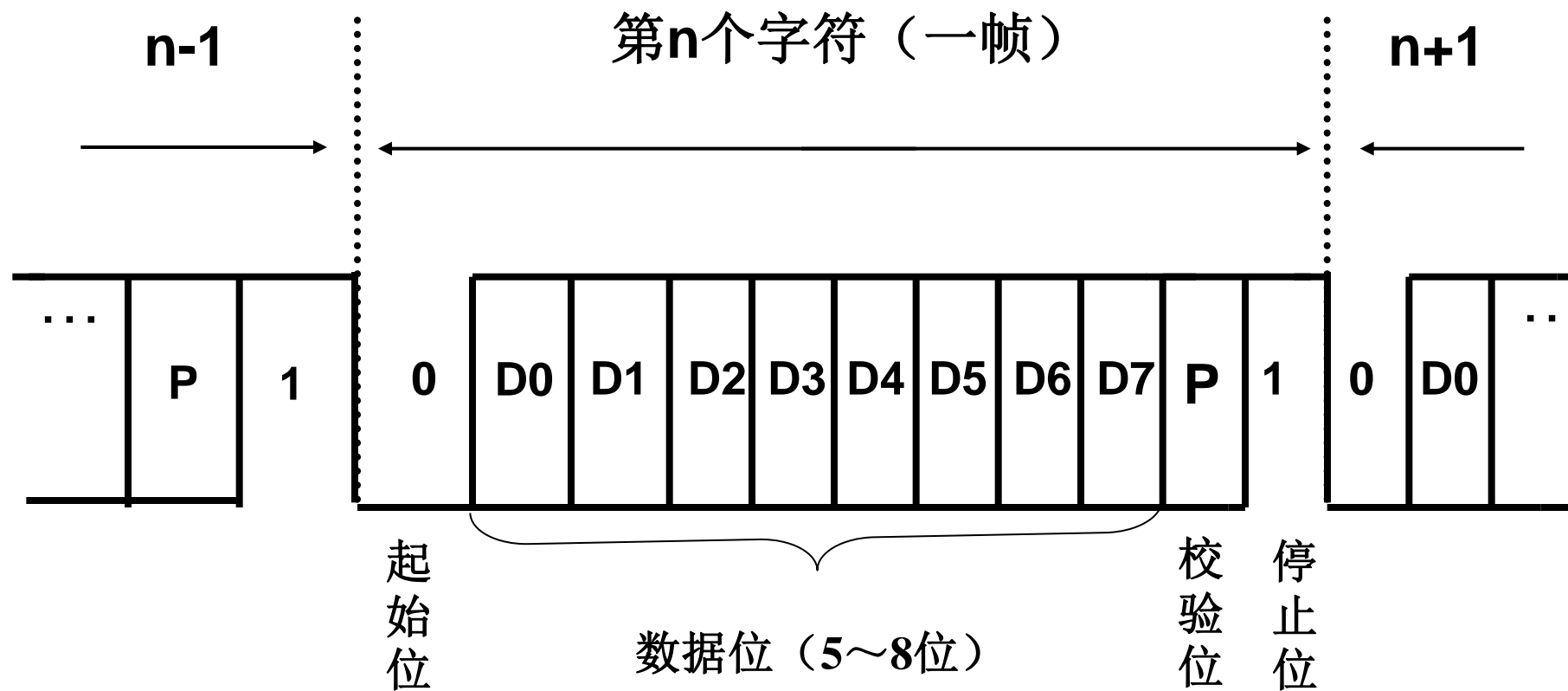
一、异步通信：

通信的双方应该有一个约定，什么时候开始发送，什么时候发送完毕；接收方收到的信息是否正确等，这就是通信协议。

异步串行通信一帧数据格式：

一个起始位 “0”，表示字符的开始，然后是5~8位数据即该字符的代码，规定低位在前，高位在后，接下来是奇偶校验位(可省略)，最后以停止位 “1”表示字符的结束。





优点：硬件结构简单。

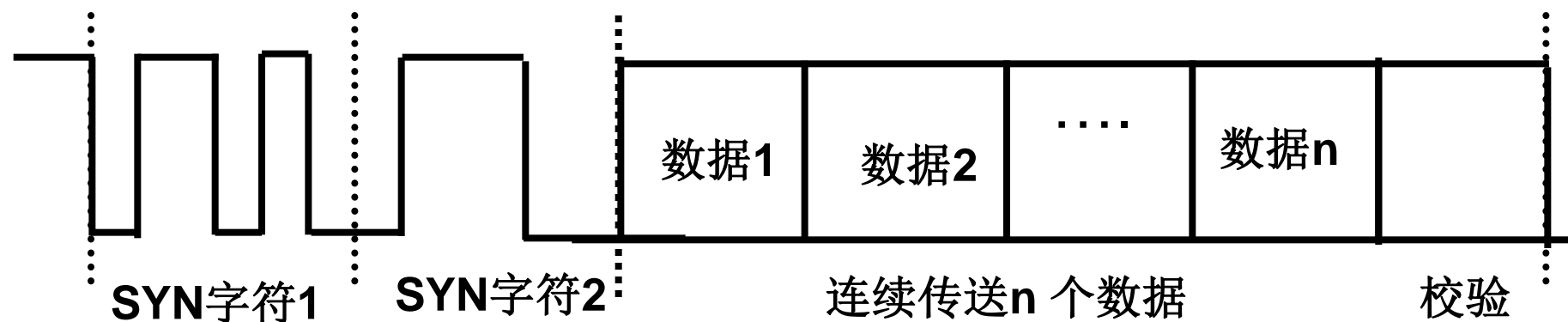
缺点：传输速度慢。





二、同步通信

在同步通信中，发送方在数据或字符开始处就用**同步字符(常约定1~2个字节)**指示一帧的开始，由时钟来实现发送端和接收端同步，接收方一旦检测到与规定的同步字符符合，下面就连续按顺序传送若干个数据，最后发校验字节。见下图：

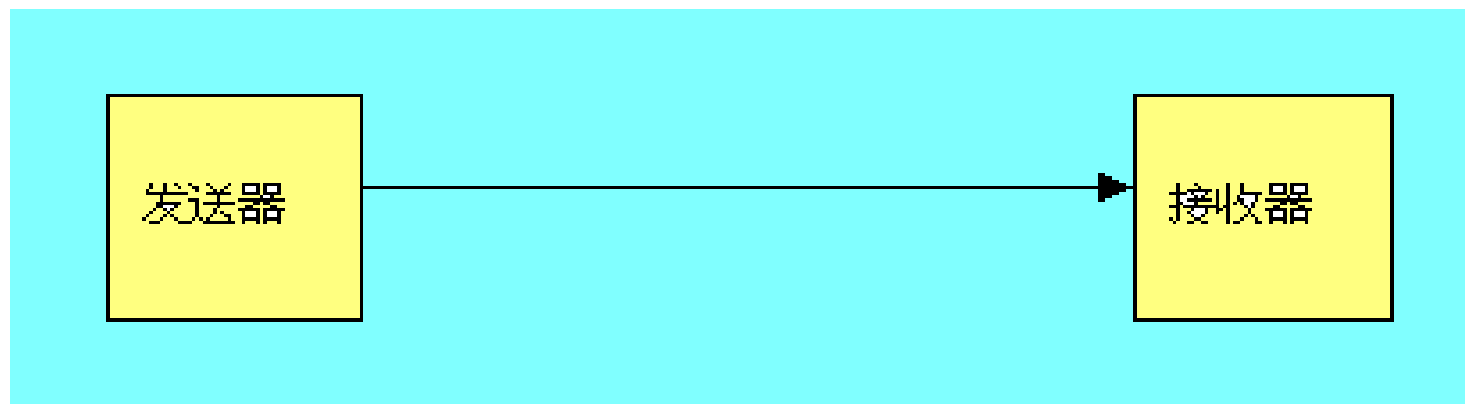




三、单工、半双工、全双工通信方式

按通信方向分类：**单工**、**半双工**、**全双工**通信方式

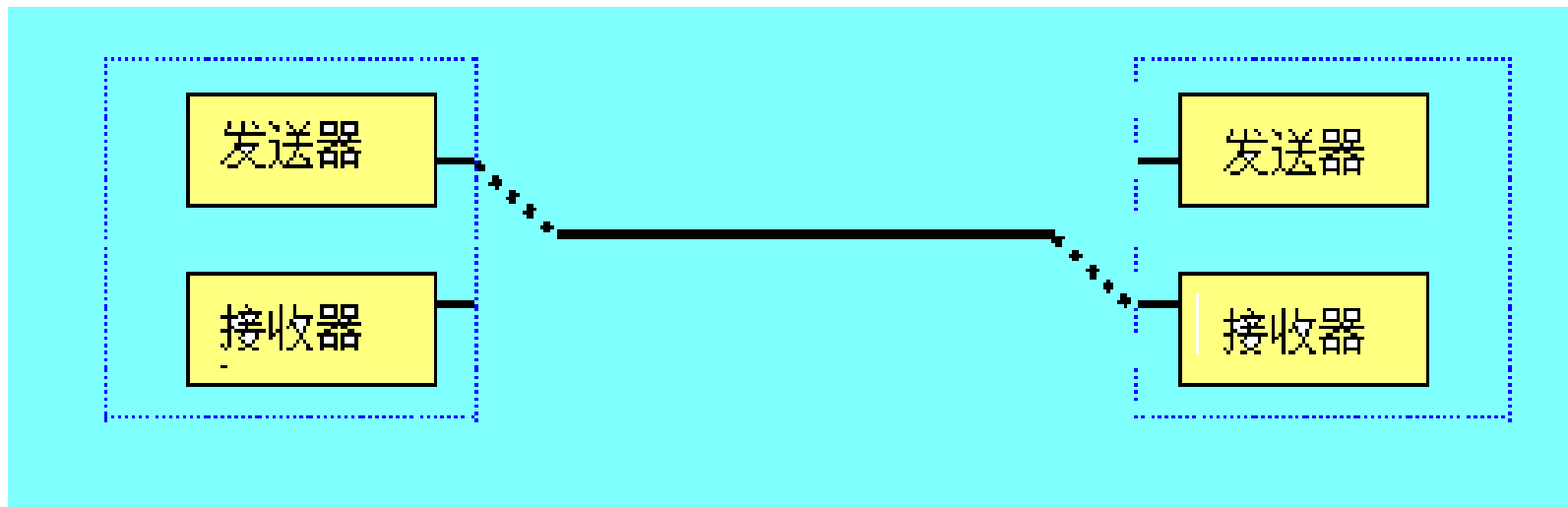
1. **单工方式**：一端是发送端，另外一端是接收端：



2. **半双工方式**

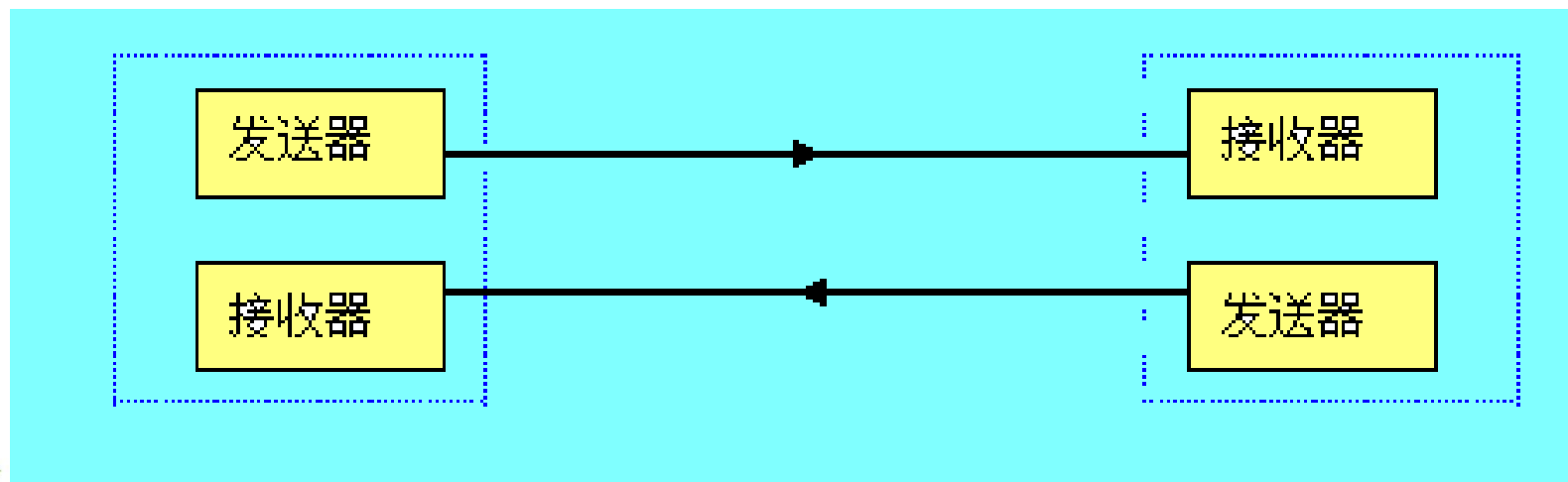
每端口有一个发送器和一个接收器，通过开关连接在线路上，数据可以双向传送，但**不能同时发送和接收**. 要通过换向器转换方向。





3. 全双工方式

通信双方用两个独立的收发器单独连接,可以同时发送和接收数据,因而提高了速度。





在串行传输中，通信的双方都按通信协议进行，所谓通信协议就是通信双方必须共同遵守的一种约定，约定包括数据的格式、同步的方式、传送的步骤、检纠错方式及控制字符的定义等。

串行接口的基本任务就是：

1.实现数据格式化

因为CPU发出的数据是并行数据，接口电路应实现不同串行通信方式下的数据格式化任务，如自动生成起止方式的帧数据格式(异步方式)或在待传送的数据块前加上同步字符等。





2.进行串、并转换

在发送端，接口将CPU送来的并行信号转换成串行数据进行传送；而在接收端，接口要将接收到串行数据变成并行数据送往CPU，由CPU进行处理。

3.控制数据的传输速率

接口应具备对数据传输率—波特率的控制选择能力，即具有波特率发生器。

4.进行传送错误检测

在发送时，对传送的数据自动生成校验位或校验码，在接收端能检查校验位或校验码，以确定传送中是否有误码。





51系列单片机内有一个全双工的异步通信接口，通过对串行接口写控制字可以选择其数据格式，同时内部有波特率发生器，提供可选的波特率，可完成双机通信或多机通信。

四、波特率

单位时间内传送的信息量。在计算机中，以每秒传送的二进制位数为单位。

例如：100字符/秒，1个字符11位，

波特率为：100×11=1100（波特）

平均每位传送占用时间

$$T_d = 1/1100 = 0.909\text{ms}$$





五. 串行通信总线标准及接口

(一) 通信线的连接

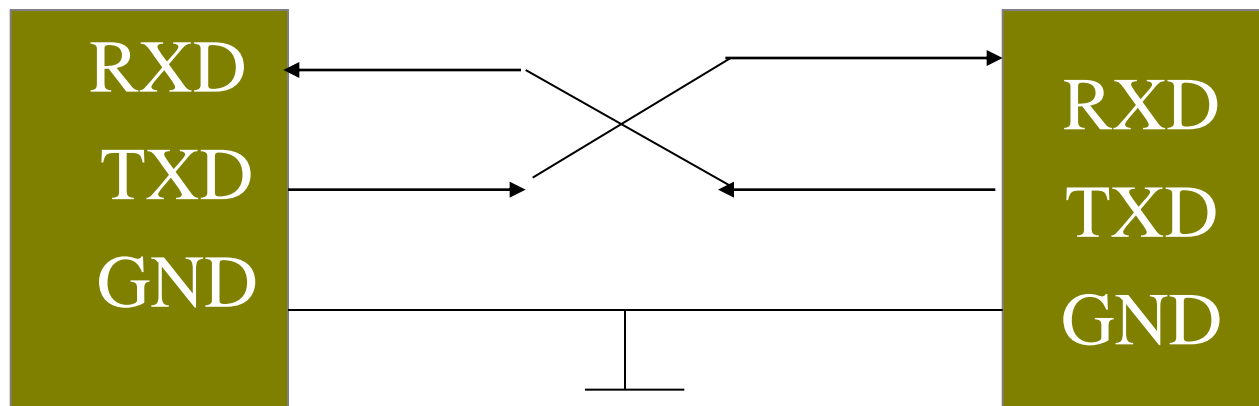
通信速率和通信距离这两个方面是相互制约的，降低通信速率，可以提高通信距离。

不同的通信距离，串行通信电路有不同的连接方法。

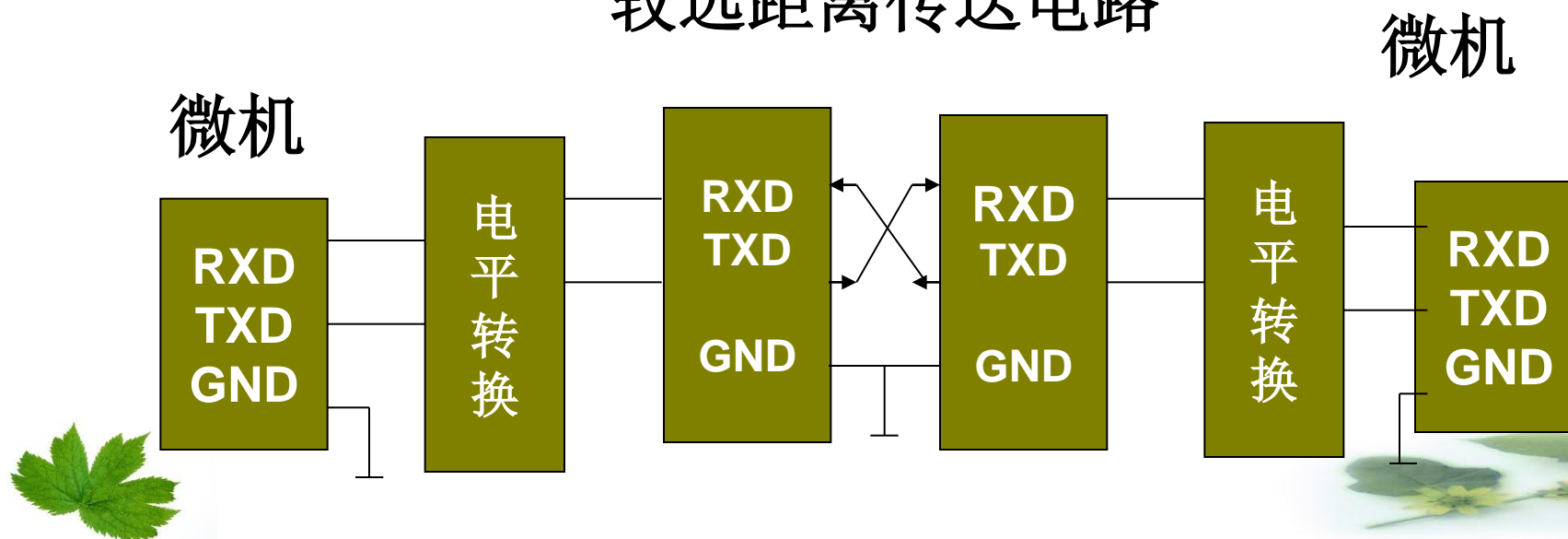




近距离传送电路



较远距离传送电路





(二) 串行通信接口总线标准

测控系统中，计算机通信主要采用异步串行通信方式，常用的异步总线标准有三种：

- RS-232 (RS-232A RS-232B RS-232C)
- RS-449 (RS422 RS423 RS485)
- 20mA电流环

这里重点介绍RS-232

RS-232C: 速率: 20Kbit/S,

最大通信距离 : 15m

RS422: 10Mbit/s, : 300m

90Kbit/s, : 1200m





抗干扰能力

采用标准的通信接口，本身具有一定的抗干扰能力，但是工业现场的情况往往很恶劣，因而要根据具体情况进行选择。

RS232C：一般场合

RS422：共模信号比较强

光纤：电磁干扰较强





(三) RS-232C

美国电子工业协会（EIA）公布的一种异步通信标准。

RS232C标准是：

- 设备之间通信的距离不大于15米
- 最大传输速率20KB/S
- 采用负逻辑：
“1”—— $-5V \sim -15V$
“0”—— $+5V \sim +15V$
- 不带负载时输出电平： $-25V \sim +25V$
- 输出短路电流： $< 0.5A$
- 最大负载电容： 2500pF

当计算机采用RS232标准时必须通过电平，MAX232是EIA和TTL电平转换芯片。内部具有电压提升电路，并有两路接收器和发送器。其连线和引脚如图



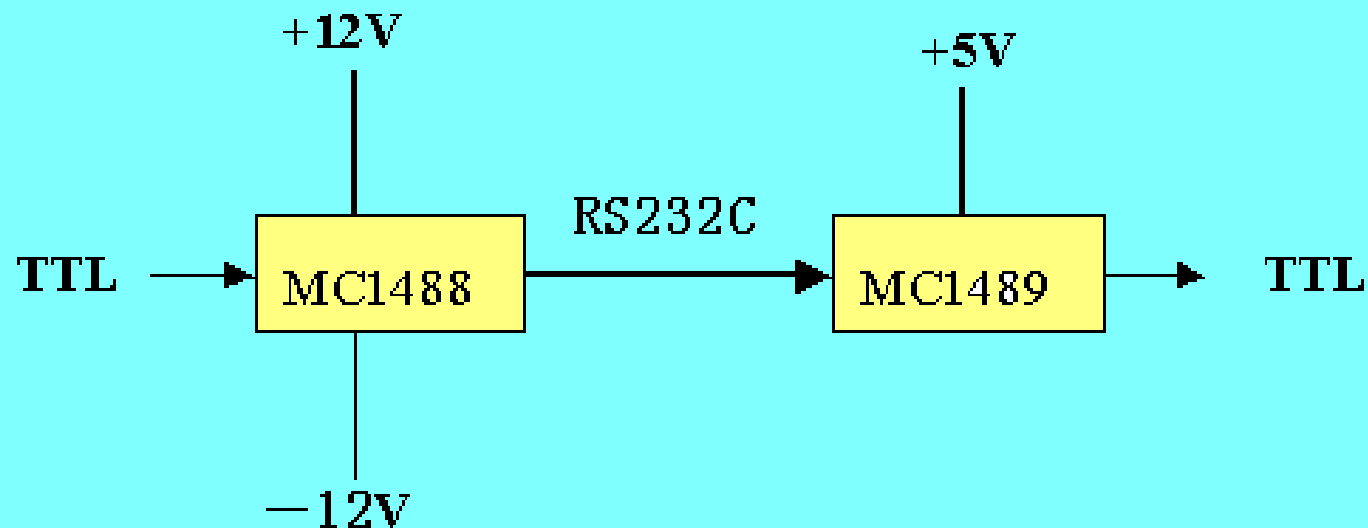


TTL电平可以由专用集成电路转换成RS232C标准；

如：MC1488 或 75188 TTL \longrightarrow RS232C

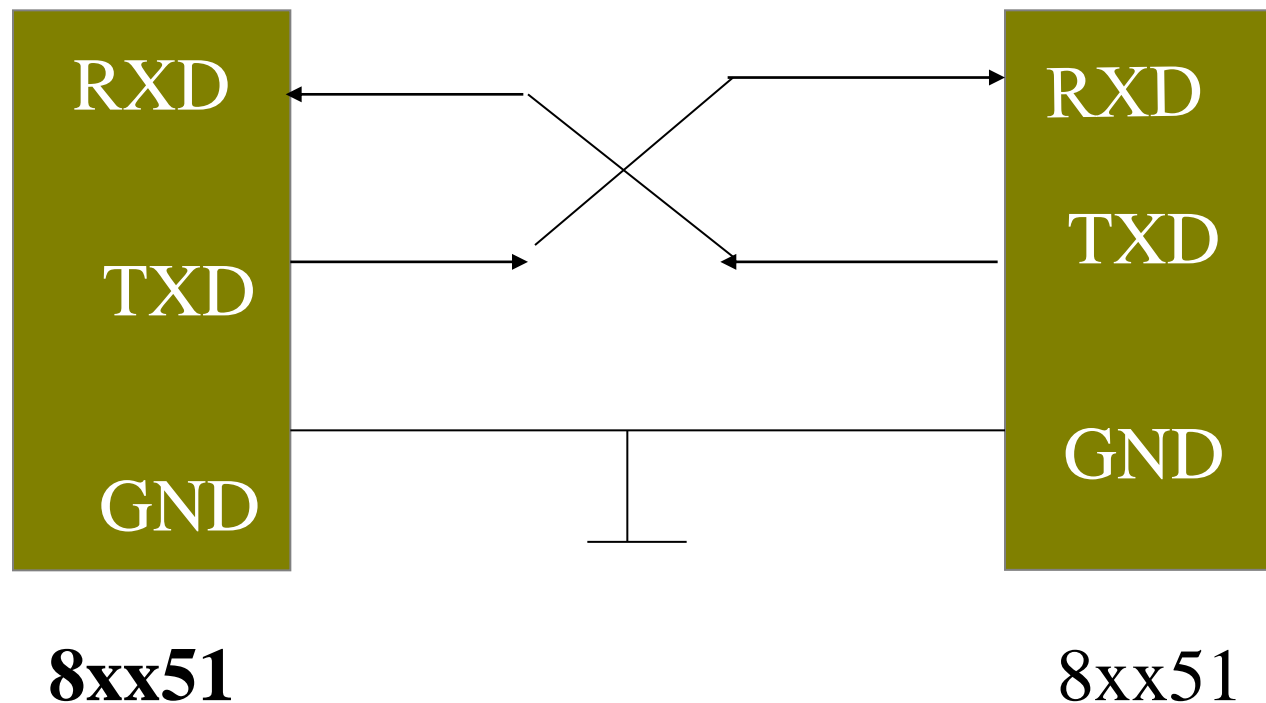
从MC1489 或 75189 RS232C \longrightarrow TTL

由于MC1488需要采用 $\pm 12\text{V}$ 电源，一般在单片机通信中大量使用的是只需要 $+5\text{V}$ 电源、具有发送和接收的一体化芯片，如：MAX232、ICL232、ADM202等。





MCS—51之间的双机通信



MCS—51和PC机的双机通信

MCS—51和PC机的双机通信见下图





5.2.2 单片机串行口的结构与工作原理

51单片机有一个可编程的全双工异步串行通信接口，它可作UART用，也可作同步移位寄存器，其帧格式可有8位、10位或11位，并能设置各种波特率，给使用者带来很大的灵活性。

一、串行口的内部结构



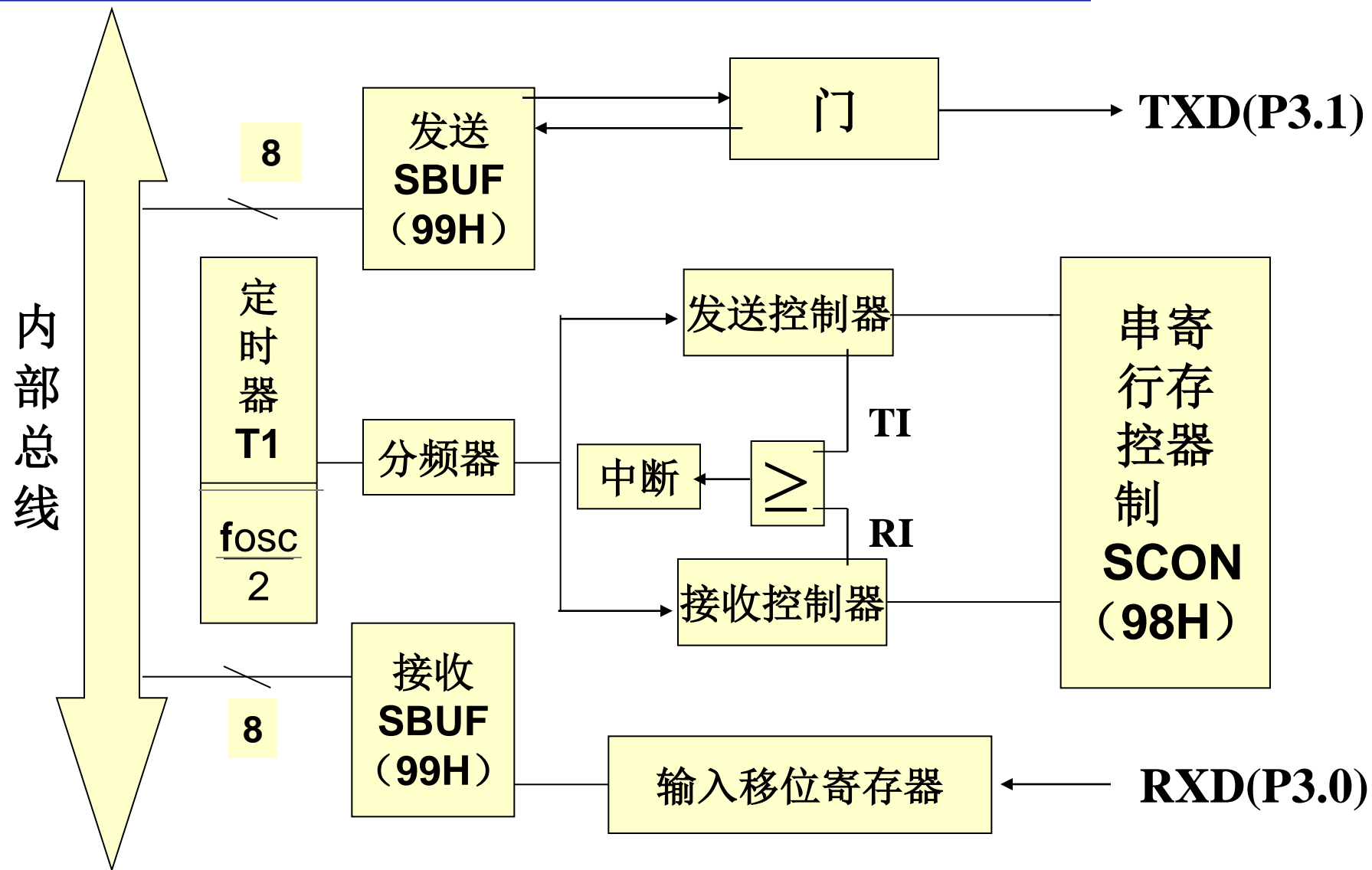


图8.7 串行口结构框图



51 单片机通过引脚**RXD(P3.0)**串行数据接收端)和引脚**TXD(P3.1)**串行数据发送端)与外界进行通信。

图中有**两个物理上独立**的接收、发送缓冲器**SBUF**，它们**占用同一地址99H**，可同时发送、接收数据。

- 发送缓冲器只能写入，不能读出，CPU写SBUF，一方面修改发送寄存器，同时启动数据串行发送；
- 接收缓冲器只能读出、不能写入。读SBUF，就是读接收寄存器。





● 串行控制寄存器SCON

用以存 放串行口的控制和状态信息。8XX51串行口正是通过对上述专用寄存器的设置、检测与读取 来管理串行通信的。

● 特 殊功能寄存器PCON的最高位SMOD为串行口波特率的倍增控制位。

● 波特率发生器 可以有两种选择：

1. **定时器T1作波特率发生器**，改变计数初值就可以改变串行通信的速率，称为可变波特率。
2. **以内部时钟的分频器**作波特率发生器，因内部时钟频率一定，称为固定波特率

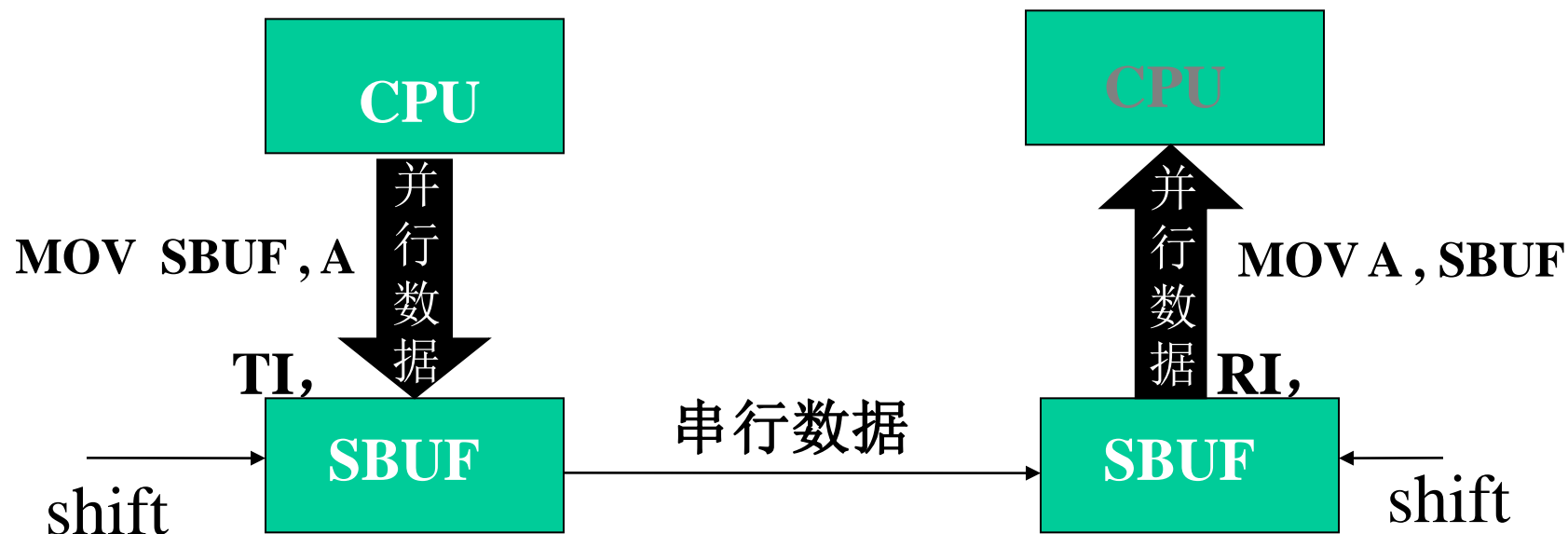




二、串行通信的传送过程用下面简图说明

甲方（发送）

乙方（接收）



甲方发送时，**CPU**执行指令 **MOV SBUF, A** 启动了发送过程，数据并行送入**SBUF**，在发送时钟 **shift**的控制下由低位到高位一位一位发送，乙方在接收时钟 **shift** 的控制下由低位到高位 顺序进入移位寄存器**SBUF**，甲方一帧数据发送完毕，置位发送中断标志**TI**,





该位可作为查询标志（或引起中断），

CPU可再发送下一帧数据。乙方一帧数据到齐即接收缓冲器满，置位接收中断标志**RI**，该位可作为查询标志（或引起接收中断），通过**MOV A,SBUF CPU**将这帧数据并行读入。

由上述可知：

1. 甲、乙方的移位时钟频率应相同，即应具有相同的波特率，否则会造成数据丢失。
2. 发送方是先发数据再查标志，接收方是先查标志再收数据。





3.CPU通过指令和**SBUF**并行交换数据，并不能控制数据的串行移位，它只能查询标志位来确定数据的移位是否完成。

三、串行口的控制寄存器

51单片机串行口是一个可编程接口，对它的编程只用两个控制字分别写入特殊功能寄存器：

串行口控制寄存器SCON(98H)

电源控制寄存器PCON(97H)





5.2.3 串行口的控制寄存器

5.2.3.1 串行口的控制寄存器SCON(98H)

8XX51串行通信的方式选择，接受和发送控制及串行口的标志均由专用寄存器SCON控制和指示, 其格式如下：

SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI
方式选择		多机控制	串行接收允许/禁止	欲发的第九位	收到的第九位	发送中断有/无	接收中断有/无





SM0 SM1:串行口工作方式控制位。

0 0---方式0, 0 1---方式1

1 0---方式2, 1 1---方式3

REN: 串行接收允许位。

0---禁止接收, 1---允许接收

TB8: 在方式2,3中,TB8是发送机要发送的第9位数据。

RB8:在方式2,3中,RB8是接受机收到的第9位数据,

该数据来自发送机的TB8。

TI: 发送中断标志位。**发送前必须用软件清零**, 发送完一帧数据后, 由硬件置“1”, 如果再发送, 必须用软件再清零。





RI: 接收中断标志位。接收前,必须用软件清零,接收完一帧数据后由片内硬件自动置“1”。如果再接收必须用软件清零。

SM2:多机通信控制位, 仅用于方式2和方式3。

在方式2,3中, 发送机SM2=1(程序设置)。

接收机SM2=1,若RB8=1,激活RI,引起接收中断。

RB8=0,不激活RI,不引起接断。

SM2=0,无论RB8=1还是RB8=0均激活RI引起接收中断。

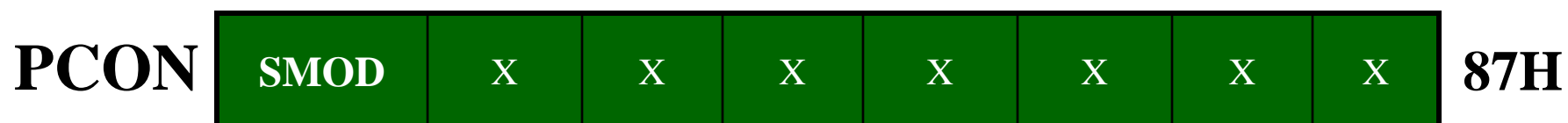
在方式1中,当接收时SM2=1,则只有收到有效停止位才激活RI, 在方式 0 中, SM2应置为0。





5.2.3.2 电源控制寄存器PCON

PCON的格式如下图所示,串行通信只用其中的最高位SMOD



SMOD : 波特率加倍位。在计算串行方式 1、 2、 3 的波特率时, **SMOD= 0**—不加倍;
SMOD= 1—加倍

PCON的字节地址为87H,无位地址,只能字节寻址.,初始化时SMOD=0.





5.2.4 串行口的工作方式

根据串行通信数据格式和波特率的不同, 51系列单片机的串行通信有四种工作方式,通过编程进行选择,各工作方式的特点如下:

1.方式0

- ☺ 方式0的数据格式为8位,低位在前,高位在后
- ☺ **RXD**为串行数据的发送端或接收端, **TXD**输出频率为 $f_{osc}/12$ 的时钟脉冲。
- ☺ 波特率固定为 $f_{osc}/12$ (f_{osc} 为单片机晶振频率)

方式0一般以移位寄位器方式用于接口的扩展,通过外接串入并出移位寄存器扩展输出接口;通过外接并入串出移位寄存器扩展输入接口,方式0也可应用于短距离的单片机之间的通信。





2.方式1

☺ 为10位异步通信方式,几每帧数据由1个起始位“0”.八个数据位 和1个停止位“1”共10位构成.其中起始位和停止位在发送时是自动插入的.

☺ 以TXD为串行数据的发送端,T1提供位时钟,RXD为数据的接收端,由T1提供移位时钟,是波特率可变方式

☺ 波特率= $(2^{\text{SMOD}}/32) \times (\text{TI的溢出率})$

$$=(2^{\text{SMOD}}/32) \times (\text{fosc}/12(256-\text{x}))$$

根据给定的波特率,可以计算T1的计数初值X。

4. 方式3

数据格式同方式 3，所不同的是波特率可变，
计算方式同方式 1。





3. 方式2

11位异步发送/接收方式,即每帧数据由有一个起始位“0”,9个数据位和1个停止位“1”组成.发送时第九个数据位,由**SCON**寄存器的**TB8**位 提供,接收到的第九位数据存放在**SCON**寄存器的**RB8**位.

😊第九位数据可作为检验位,也可用于多机通信中识别传送的是地址还是数据的特征位。

😊 波特率固定为 $(2^{\text{SMOD}}/64) \times f_{\text{osc}}$.

4. 方式3 数据格式同方式 3，所不同的是波特率可变，计算方式同方式 1。

SM0、SM1：串行口工作方式选择位

SM0	SM1	方式	功能	波特率
0	0	方式0	移位寄存器方式	$f_{\text{osc}}/12$
0	1	方式1	8位异步通信方式	可变
1	0	方式2	9位异步通信方式	$f_{\text{osc}}/32$ 或 $f_{\text{osc}}/64$
1	1	方式3	9位异步通信方式	可变



5.2.5 串行口的应用编程

串行口的波特率有两种方式：

- 固定波特率
- 可变波特率

注意：使用可变波特率时，先确定T1的计数初值，并对T1进行初始化。

串行通信的编程方式：

- 查询方式：查RI 或者TI是否为“1”。
- 中断方式：如果预先开了中断，当TI、RI 为“1”，会自动产生中断。

注意：两种方式中当发送或接收数据后都要注意 用软件清TI 或RI 。





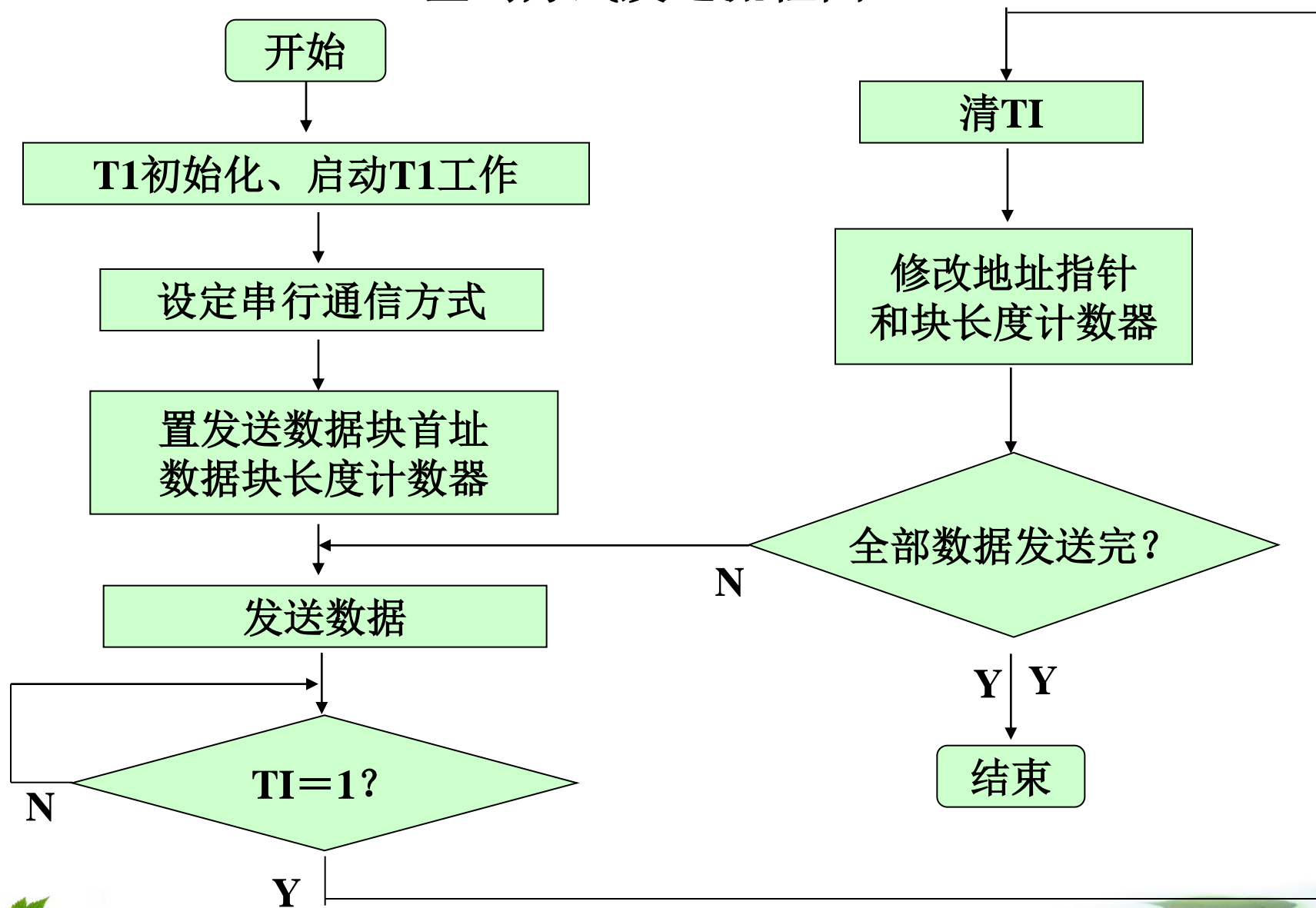
5.2.5.1 查询方式

查询方式发送流程图和接收流程图见下页



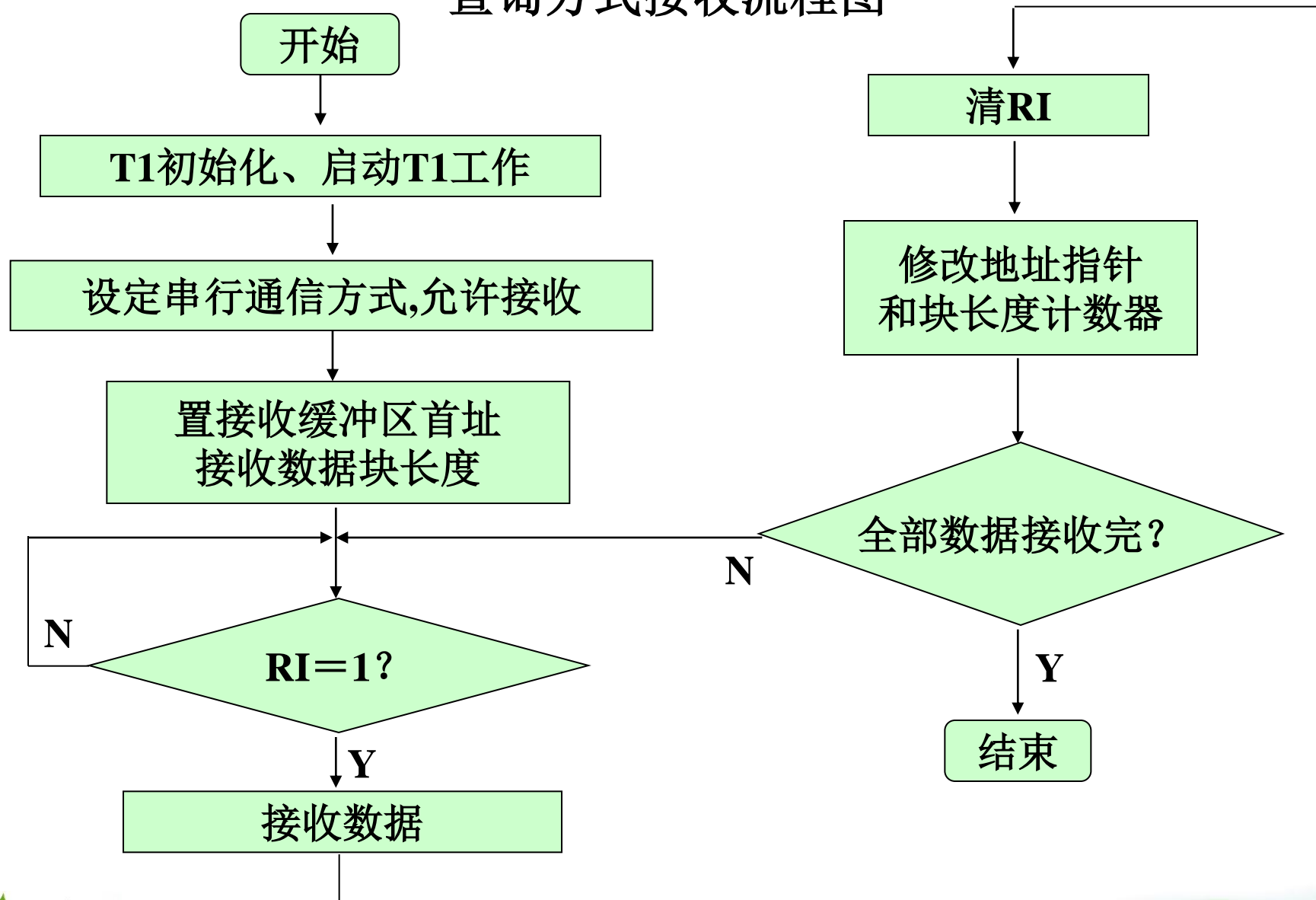


查询方式发送流程图





查询方式接收流程图





5.2.5.2 中断方式

中断方式的初始化编程同查询方式，不同的是要开中断，即置位**EA**和**ES**，编写中断服务程序。

中断方式串行通信的程序流程见下图：

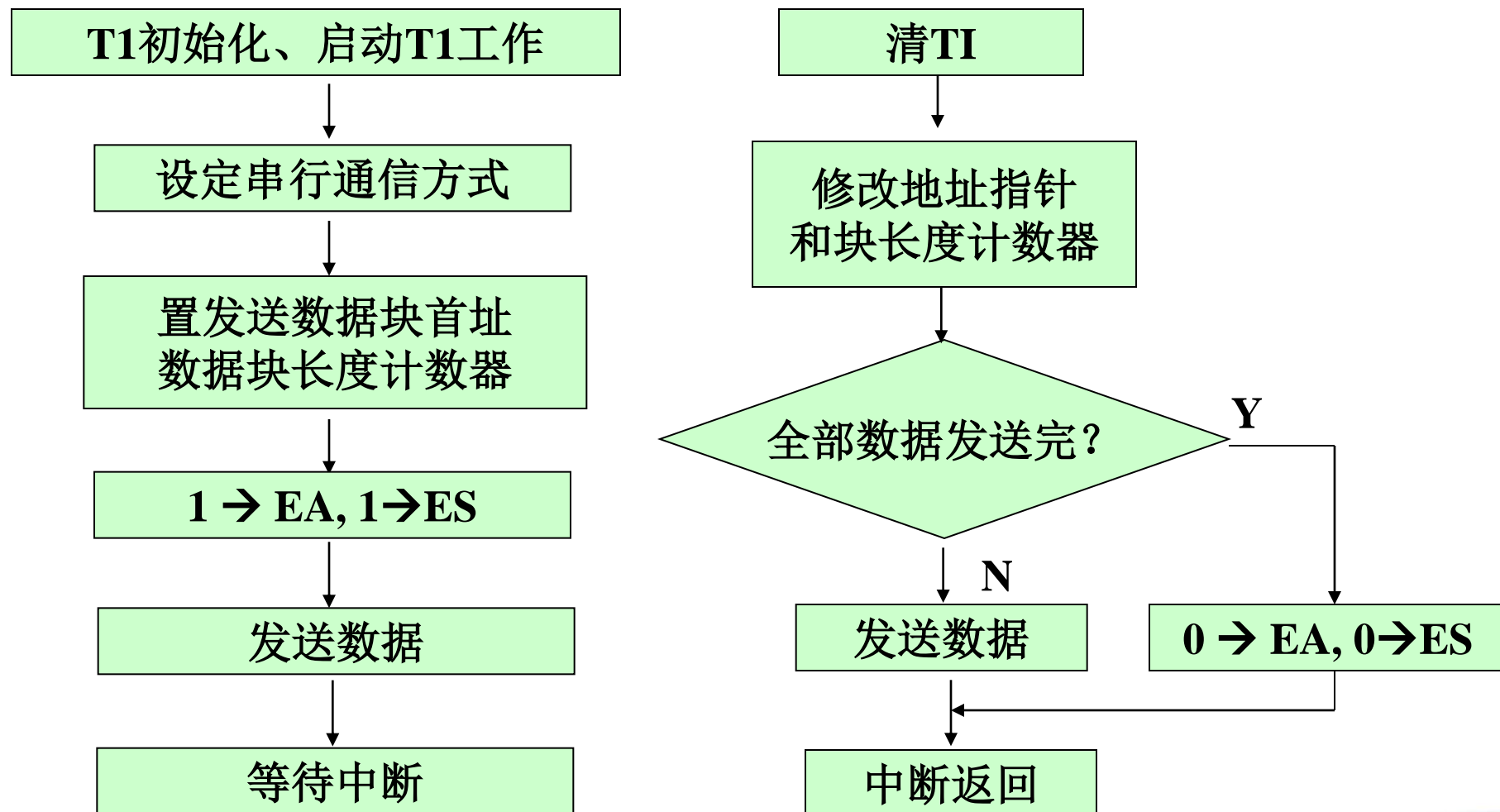




中断方式发送流程图

主程序

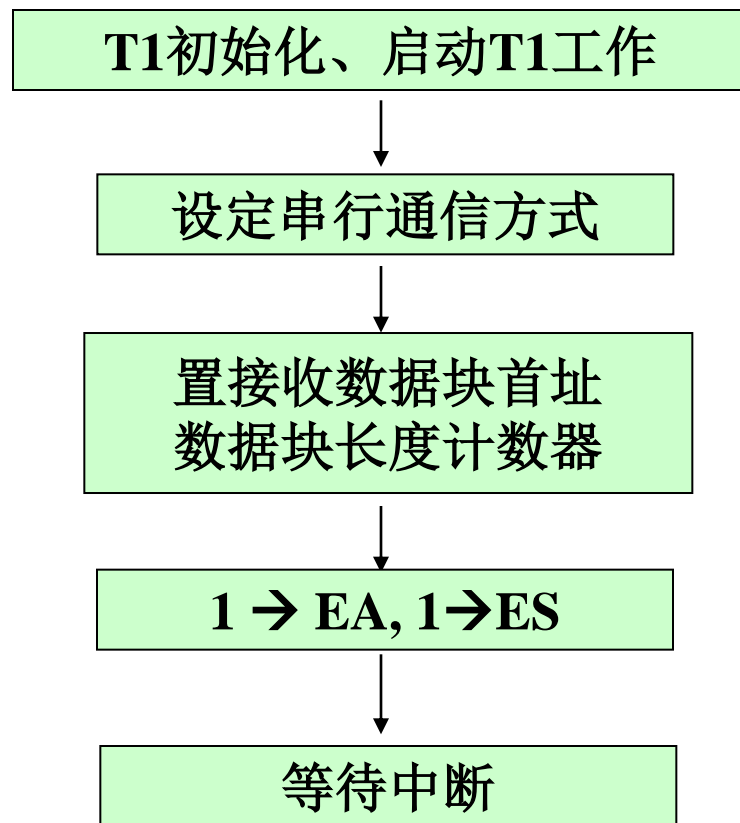
中断服务程序



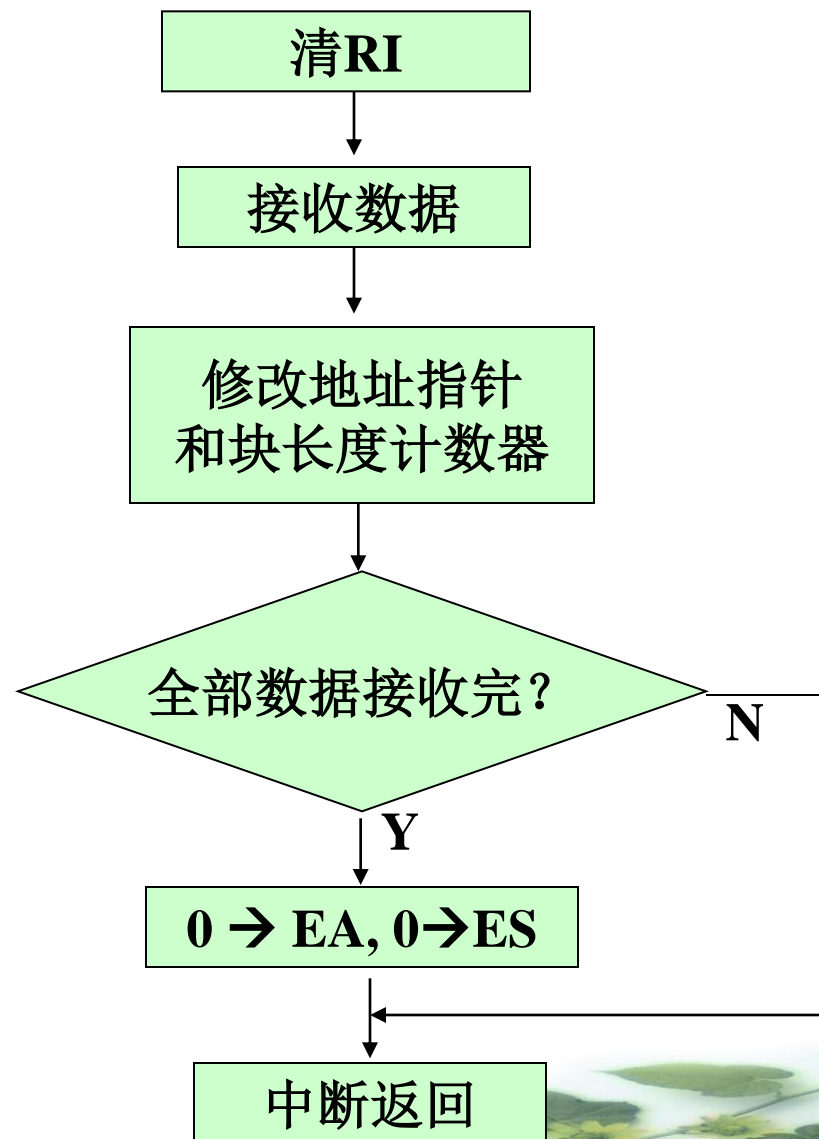


中断方式接收流程图

主程序

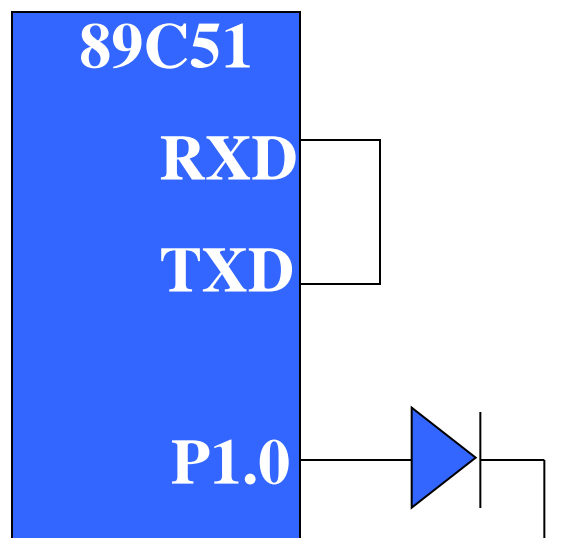


中断服务程序





例 接线如图，编一个自发自收程序，检查单片机的串行口是否完好， $f=12\text{MHz}$ ，波特率 $=600$ ，取 $\text{SMOD}=0$ 。



解：依据公式

$$\text{波特率} = \frac{1}{32} \times \frac{f_{\text{osc}}}{12(256 - x)}$$

$$\text{求得 } x = 204 = \text{CCH}$$





汇编语言编程

SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI
-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

```
MOV    TMOD, #20H
MOV    TH1, #0CCH
MOV    TL1, #0CCH    ; 设定波特率
SETB   TR1
MOV    SCON, #50H
ABC:   CLR    TI
MOV    P1, #0FEH    ; LED灭
ACALL  DAY          ; 延时
MOV    A, #0FFH
MOV    SBUF, A      ; 发送数据FFH
JNB    RI, $        ; RI = 1等待
```





```
        CLR    RI
        MOV    A, SBUF    ; 接收数据, A=FFH
        MOV    P1, A      ; 灯亮    /
        JNB    TI, $       ; TI = 1等待/
        ACALL  DAY        ; 延时
        SJMP   ABC
DAY:    MOV    R0, #0
DAL:    MOV    R1, #0
        DJNZ   R1, $
        DJNZ   R0, DAL
        RET
```

如果发送接收正确，可观察到P1.0接的发光二极管闪亮。





SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI
-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

例10-18 在内部数据存储器20H~3FH单元中共有32个数据，要求**采用方式1**串行发送出去， 传送速率为1200波特， 设 $f_{osc}=12\text{MHz}$ 。

方法：T1工作于方式 2 作波特率发生器，取SMOD=0， T1的时间常数计算如下：

$$\text{波特率} = (2^{\text{SMOD}}/32) \times f_{osc} / (12 \times (256-x))$$

$$1200 = (1/32) \times (12 \times 10^6) / (12 \times (256-x))$$

$$x = 230 = \text{E6H}$$

(1) 查询方式编程C语的编程：

发送程序：

```
#include<reg51.h>
main( )
{
unsigned char i;
char *p;
TMOD=0x20;
TH1=0xe6;TL1=0xe6;
TR1=1;
```

SCON=0x40;

```
p=0x20;
for (i=0;i<=32;i++) {
    SBUF=*p;
    p++;
    while (!TI);
    TI=0;
}
```

接收程序：

```
#include <reg51.h>
main( )
{ unsigned char I,*p;
TMOD=0x20;TH1=0xe6;TL1=0xe6;
TR1=1;
SCON=0x50;p=0x20;
for (i=0;i<=32;i++) {
    while (!RI);
    RI=0; *p=SBUF;
    p++; } }
```





例 例如串行通信方式0，扩展I/O接口，接八个数码管，使内部数据存储器58H~5FH单元的内容为0XH。

分析 由于TXD，RXD运行在工作方式0时，可方便的连接串入并移出位寄存器74LS164，TXD发送移位脉冲，RXD发送数据，P3.3用于显示器的输入控制，通过74LS164接八个数码管，电路如下图所示。



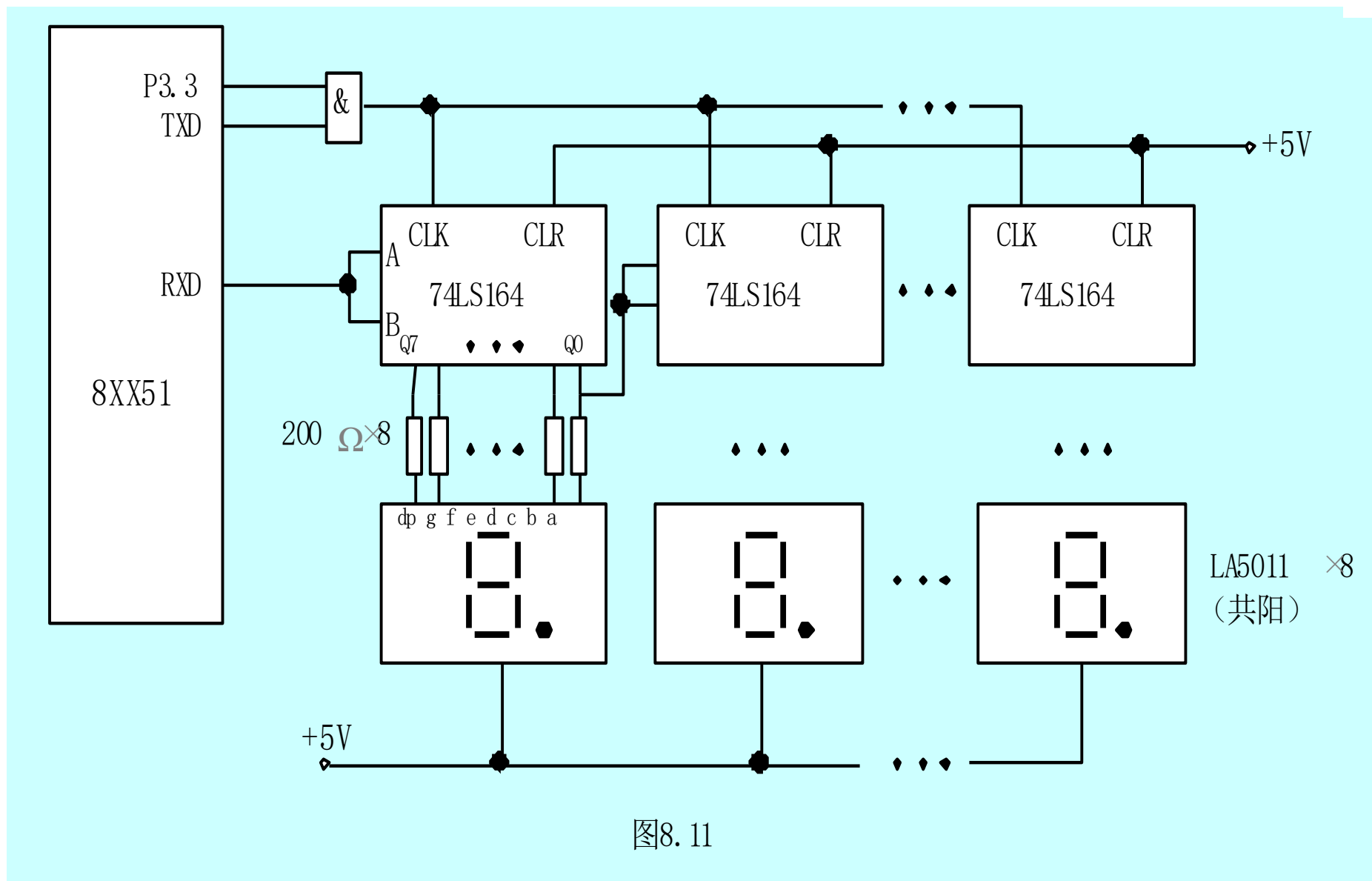


图8.11



SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI
-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

程序如下：

```
ORG    0050H
SETB   P3.3      ; 允许移位寄存器工作
MOV    SCON, #0   ; 选串行通信方式0
MOV    R7, #08H   ; 显示八个字符
MOV    R0, #5FH   ; 先送最后一个显示字符
MOV    DPTR, #TBA ; DPTR指向字形表首址
DLO:   MOV    A, @R0 ; 取待显示数码
        MOVC  A, @A+DPTR ; 查字形表
        MOV    SBUF, A ; 送出显示
        JNB    TI, $ ; 一帧输出完？
        CLR    TI ; 已完，清中断标志
```





```
DEC    R0          ; 修改显示数据地址
DJZN   R7, DLO
CLR    P3.3        ; 8位送完，关发送脉冲
SJMP   $
TBA:   DB    0C0H,0F9H,0A4H,B0H,99H,92H
        DB    82H,0F8H,80H,90H,83H,83H,0C6H
        DB    0A1H,86H,84H,0FFH,0BFH
END
```

