

# RTOS

DJS-100 系列机

## 实时操作系统

(RTOS)

# 讲义

朱子楠 秦秋君

# RTOS

苏州电子计算机厂

一九八一年四月

## 前 言

这本“讲义”是为国家电子计算机工业总局技术服务公司委托我厂举办的RTOS使用学习班而编写的。

编写这“讲义”时，我们试图使用户读了“讲义”后能初步学会使用实时操作系统，因此内容上不再像原使用说明书那样讲得简单，我们参阅了原使用说明书和RTOS分析等书而进行重新编写，並增加了一些命令用法的例子，对编写RTOS用户程序所必需的概念，作了较详细阐述。由于我们水平有限，加之编写时间仓促，谬误之处在所难免，欢迎广大用户读者批评指正。

编 者

一九八一年一月

# 目 录

## 前 言

## 第一章 RTOS 概况

|     |                                      |   |
|-----|--------------------------------------|---|
| § 1 | 引言 .....                             | 1 |
| § 2 | 特点 .....                             | 1 |
| § 3 | 主要功能 .....                           | 2 |
| § 4 | 用户——系统之通讯模式、文件、I/O 形式 .....          | 3 |
| § 5 | RTOS 总示意图 .....                      | 8 |
| § 6 | RTOS 操作系统的用户观点——<br>给用户提供的工作环境 ..... | 8 |

## 第二章 处理机管理、设备管理、实时钟管理

|     |                       |    |
|-----|-----------------------|----|
| § 1 | 处理机管理 .....           | 10 |
| 1、  | 任务 .....              | 11 |
| 2、  | 任务调度 .....            | 12 |
| 3、  | RTOS 系统中任务管理的处理 ..... | 16 |
| § 2 | 设备管理 .....            | 19 |
|     | 前言 .....              | 19 |
| 1、  | I/O 形式 .....          | 20 |
| 2、  | 设备管理中的二个数据结构 .....    | 21 |
| 3、  | 设备分配原则 .....          | 23 |
| 4、  | 中断处理 .....            | 24 |
| § 3 | 实时钟管理 .....           | 26 |

## 第三章 程序模式

|      |                    |    |
|------|--------------------|----|
| § 1  | 任务调用命令 .....       | 29 |
| 1~16 | 各种命令介绍及使用方法 .....  | 36 |
| 17   | 任务调用命令的举例 .....    | 37 |
| 18   | 多任务调用命令工作流程图 ..... | 39 |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| § 2 系统调用命令 .....                 | 39 |
| 1、命令分类、格式和由系统返回时AC内容 .....       | 39 |
| 2、与通道有关的命令 .....                 | 41 |
| (1) 打开和关闭命令 .....                | 41 |
| (2) 与磁带有关的命令 .....               | 44 |
| (3) 与磁盘有关的命令 .....               | 50 |
| (4) 标准设备输入输出命令 .....             | 53 |
| (5) 得到第一个未使用的通道号的命令 . GCHN ..... | 56 |
| 3、与通道无关的命令 .....                 | 56 |
| (1) 电传机/显示命令 .....               | 56 |
| (2) 存贮容量命令 .....                 | 61 |
| (3) 系统空闲命令 .....                 | 62 |
| (4) 时钟与日历命令 .....                | 63 |
| 4、系统调用命令的误码 .....                | 68 |
| 5、系统调用命令工作流程图 .....              | 70 |
| § 3 系统调用命令与任务调用命令的差别 .....       | 71 |

#### 第四章 用户中断与掉电处理

|                           |    |
|---------------------------|----|
| § 1 用户设备的定义及使用方法 .....    | 72 |
| 1、用户设备的定义方法 .....         | 72 |
| 2、用户设备的使用方法 .....         | 76 |
| 3、高优先级设备与用户设备的中断优先级 ..... | 77 |
| § 2 用户时钟的定义及其使用方法 .....   | 78 |
| 1、用户时钟的定义 .....           | 78 |
| 2、用户时钟的用法 .....           | 79 |
| § 3 电源故障/自动重新启动 .....     | 81 |
| 1、掉电处理 .....              | 81 |
| 2、来电处理 .....              | 81 |

#### 第五章 系统结构

|                    |    |
|--------------------|----|
| § 1 RTOS 第另页 ..... | 84 |
|--------------------|----|

|     |                           |    |
|-----|---------------------------|----|
| § 2 | UST ( 用户状态表 ) .....       | 86 |
| § 3 | 任务控制块TCB集合 ( TCBP ) ..... | 87 |
| § 4 | 用户文件指示器表 .....            | 87 |
| § 5 | 设备文件表 .....               | 87 |
| § 6 | . HINT ( 高优先级中断表 ) .....  | 89 |
| § 7 | . ITBL ( 中断表 ) .....      | 91 |
| § 8 | . CHTB ( 标准设备名称表 ) .....  | 91 |

## 第六章 RTOS 生成和装入

|     |                          |     |
|-----|--------------------------|-----|
| § 1 | 系统生成 .....               | 95  |
| 1、  | 功能 .....                 | 95  |
| 2、  | 程序的装入和执行 .....           | 95  |
| 3、  | 系统生成一个实例 .....           | 99  |
| § 2 | RTOS 系统程序的装入和程序的启动 ..... | 103 |

## 第七章 多任务用户程序的例子

|     |                                        |     |
|-----|----------------------------------------|-----|
| § 1 | 多任务系统 TOT1 程序 —— 例 1 .....             | 105 |
| § 2 | —— RTOS 联合考机程序 (RTOS—CEP) —— 例 2 ..... | 115 |
| 1、  | RTOS 联合考机程序概述 .....                    | 115 |
| 2、  | 对各个任务的分析 .....                         | 116 |
| 3、  | 系统对各个任务的控制 .....                       | 117 |

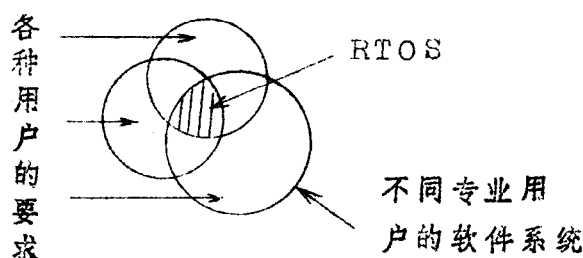
## 参考资料

# 第一章 RTOS 概况

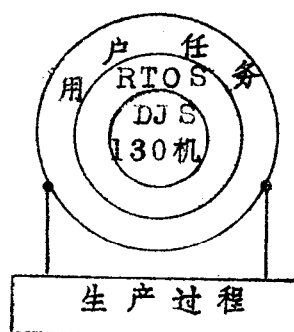
## § 1 引言

RTOS 是 Real Time Operating System 的缩写，意即实时操作系统，RTOS 是一个单道实时多任务并行监督系统。实时：系统运行具有时间概念，被它所管理的任务和设备可定义为实时任务和实时设备。多任务：它能管理多个任务，且能并行运行，这些任务允许具有制约关系。单道：RTOS 只能处理用户任务这一道作业。

从用户观点来看，RTOS 是满足于不同专业用户的不同要求的公共部分（见图 1. 1），各个不同专业用户以这个公共部分为核心，可编制适合自己特定要求的软件系统（这种“软件系统”也称为“适合特定专业用户需要的新的 RTOS 系统”），这个软件系统就构成了对生产过程的实时处理或控制（见图 1. 2）。



( 图 1. 1 )



( 图 1. 2 )

适合特定专业用户的新的 RTOS 系统包括如下一些内容：

RTOS 核心 + 系统设备驱动 + 用户设备驱动 + 用户程序

## § 2 特点

### 1、结构方面的特点

(1) 模块化：模块是具有一定功能的相对独立的，它们之间又是有联系的程序块。整个系统是由若干个这样的模块组成，模块之间有

机地联系着的。

(2) 完全留驻内存：对应特定专业用户的新的RTOS系统的全部程序在运行时都在内存里。这虽然限制了系统的发展，但增强了系统运行效率，减少了系统的开销。

(3) 绝大部分采用再重入结构：程序段在执行后，程序本身不被破坏，而且不同的程序调用同一程序段各自带有自己的数据区（如工作单元，数据单元），且允许从这程序段中途开始调用或中途调用结束，这样的程序段结构称为具有再重入结构的。有了再重入结构的程序段，就为程序共享、多重中断及程序段的并行运行提供条件，同时还可解决一部分内存紧张的问题。

## 2、小

RTOS系统是一个小系统，表现在下面几方面。

(1) 可由系统生成适合于特定用户的最小系统，在生成时，去掉一些不必要的模块。

(2) 最小机器（设备）组合：CPU、8KW，TTY。

## 3、RTOS是一个比较简单的系统

RTOS系统有输入输出设备管理，处理机管理和实时钟管理，只具有一级调度——任务调度。没有存贮管理，信息管理及系统调度。

## § 3 主要功能

RTOS系统的主要功能表现在三个方面，对输入输出设备进行管理，对处理机对任务进行管理及时钟管理。

1、输入输出的设备管理：现代计算机的一个特点是计算机带有越来越多的设备，(1) 这些设备的驱动与中断服务程序如都要各个用户自己来编，将是一件很复杂的事。(2) 这些工作对于用户来说是件琐碎的事，用户应该将精力集中在用户专用系统的设计、编制、和运行等方面。(3) 如果管理设备的工作都要用户自己来做，计算机的效率将大大降低。所以为方便用户使用，提高机器运行效率，对设备的管理工作，由系统软件来承担。

被RTOS系统管理的设备有两种，系统设备和用户设备。由系统

定义的提供给用户使用的设备称为系统设备。RTOS 配备的系统设备有：

TTY ( 3 台 ), PTP ( 2 台 ), PTR ( 2 台 ), RTC, CDR ( 2 台 ), LPT ( 2 台 ), PLT ( 2 台 ), QTY ( 64 路 ), DSK, DKP ( 4 台 ), CAS ( 8 台 ), MTA ( 8 台 )。

用户所必需的, 而系统缺乏的设备, 用户可将这些设备定义为用户设备, 与系统设备一起接受系统统一管理。

## 2、处理机管理

RTOS 系统另一个功能是对处理机进行管理, 其主要内容是对处理机进行分配。在 RTOS 里是由任务管理来实现的。任务管理将处理任务调度及任务之间的 ( 制约 ) 关系等问题。这就对用户任务进行管理和控制提供条件, 使用户任务可以多个, 这些多个用户任务可以并行运行, 这样就提高了系统运行的效率。

## 3、实时钟管理

为了使用户任务与设备具有实时性, 硬件设立了在一定周期之内发出一个脉冲的作为外部设备的实时钟。RTOS 系统对实时钟进行了管理, 并允许定义推迟执行的任务, 软件设立了系统时钟, 以监督生产过程的运行, 软件还允许用户定义用户时钟等。

# § 4 用户——系统通讯模式、文件、I/O 形式

## 1、通讯模式

RTOS 系统允许用户与 RTOS 系统之间 ( 仅能 ) 使用一种方式——程序模式——进行通讯。即在用户程序中使用命令进行用户与系统之间的通讯。程序模式由系统调用命令和任务调用命令组成, 本系统提供 31 条系统调用命令及 15 条任务调用命令。用户与系统方面打交道时可发出系统调用命令, 管理用户任务与其它用户任务之间的事可发出任务调用命令。

虽然系统不具备键盘模式, 但提供给用户自己编制键盘命令的手段, 借助于系统调用命令, WCHAR 进行编制 ( 见第三章 § 2 )。

## 2、文件

RTOS 系统可定义四种简单的文件，使得只要给出文件名，就能与该文件进行信息传输。RTOS 没有一个完善的文件系统，不能将系统和用户的很多信息管理起来，对 RTOS 只能说，具有一个简易的文件系统

#### (1) 慢速字符设备文件

文件名与设备名一致，在设备记忆符上加上“\$”

\$PTR —— 纸带输入机

\$PTR1 —— 第二纸带输入机

\$TTI —— 电传打字机或显示键盘

\$TTI1 —— 第二电传打字机或显示键盘

\$TTI2 —— 第三电传打字机或显示键盘

\$TTO —— 电传打印机或显示屏

\$TTO1 —— 第二电传打印机或显示屏

\$TTO2 —— 第三电传打印机或显示屏

\$PTP —— 纸带穿孔机

\$PTP1 —— 第二纸带穿孔机

\$PLT —— X—Y 增量绘图仪

\$PLT1 —— 第二 X—Y 增量绘图仪

\$LPT —— 80 或 132 行行式打印机

\$LPT1 —— 第二 80 或 132 行行式打印机

\$CDR —— 卡片读入机

\$CDR1 —— 第二卡片读入机

#### (2) QTY 文件

RTOS 系统允许用户定义 64 个可进行读写的 QTY 文件，文件名为 QTY: XX (XX 为线路号，取 00 ~ 63)，即一个文件对应于一条线路，对应于一个线路涌，(见第五章 § 5)。

文件 QTY: 64 具备监视程序的功能，监视对未打开的所有 QTY 线路的读写。使用简述如下：

首先让某任务对 QTY: 64 发出读入数据的命令，这时该任务即无条件地挂起。在此之后，如有任务对某未打开的 QTY 线路号发出读

入，在中断返回时将

|   |   |     |   |    |
|---|---|-----|---|----|
| 0 | 2 | 7   | 8 | 15 |
| 1 | 0 | 线路号 | 字 | 符  |

送入向 64 号线路发出读入命令的任务的 TAC2，并且使该任务解挂，这时，用户可借助于继续运行的向 64 号线路发出读入命令的任务检查 TAC2 的内容，可知向那一个未打开的线路发出读入命令。然后此任务再向 64 线路发出读入命令使自己挂起，起到继续监视的目的。

当有二条未打开的线路产生中断时，仅仅其中一条线路的信息置入 TAC2。至于另一条线路的中断在该任务回到挂起状态之前无法查知。

### (3) 磁盘文件

#### ① 系统可管理的磁盘设备

a) RTOS 系统配有一个固定头磁盘控制电路，在这个控制电路上可接 8 个磁盘单元（一个磁盘单元为一个盘片）。

b) RTOS 系统配有一个活动头磁盘控制电路，在这个控制电路上可接 4 个磁盘单元 (UNIT)（一个磁盘单元即通常所说的一台磁盘），记忆符为 DP0~DP3。

#### ② 系统可管理的磁盘文件

##### a) 有关磁盘文件的几项注意

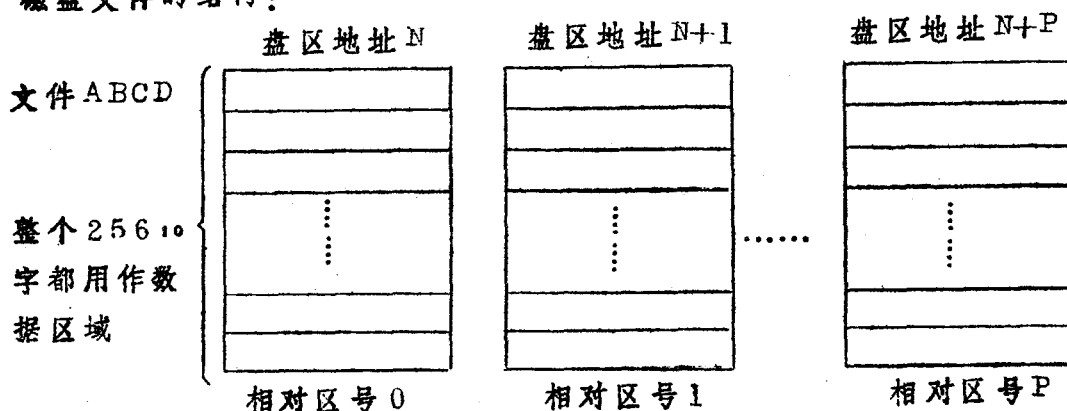
- 磁盘文件在系统生成时指定
- 文件名为 4~6 个字符，且必须是字母与数字
- 读写磁盘文件前，必须先打开磁盘文件

##### b) 磁盘文件的结构

- RTOS 系统只允许定义一种结构的磁盘文件即连续文件。
- 文件的形式由一个或几个连续的磁盘盘区组成。见（图 1—3）
- 这种文件的容量在生成时给定后，在使用时不能变更
- 读写文件中信息时，只要给出文件名称、开始读写的文件的相对区号以及读写的盘区数。

这种文件具有读写时间短及文件中各盘区的 256 个字可全部用

磁盘文件的结构：



(图 1.3) RTOS 磁盘文件 (连续文件)

作数据用的优点。

#### (4) 磁带文件

① RTOS 系统可管理磁带和小匣装磁带各一个控制电路，每个控制电路可带 8 台磁带机，编号分别为 MT0~MT7 及 CT0~CT7

#### ② 系统可管理的磁带文件

· 磁带文件是由若干个记录组成，其所包括的记录数没有限制，而一个记录内的字数由 2~4096 字范围内自由选择。这称为自由格式。

· RTOS 系统对磁带文件仅有自由格式 I/O 方式，传送数据时以字为单位，不是以字节为单位。

· 磁带及小匣装磁带的文件结构相同，文件名分别为 MTn:XX、CTn:XX ( $0 \leq n \leq 7$ ,  $00 \leq XX \leq 99$ ,  $n$  为磁带机号,  $XX$  为文件号)

· 读写磁带文件的步骤：必须先将该磁带单元进行初始化；然后将该文件打开，即将该文件与某通道连接；最后发出自由格式的读写命令。

· 关于磁带装置一些特有的性质，请参阅《DJS-130机使用说明书》第八章。

### 3. I/O 形式

在RTOS中，输入输出的方式有如下四种

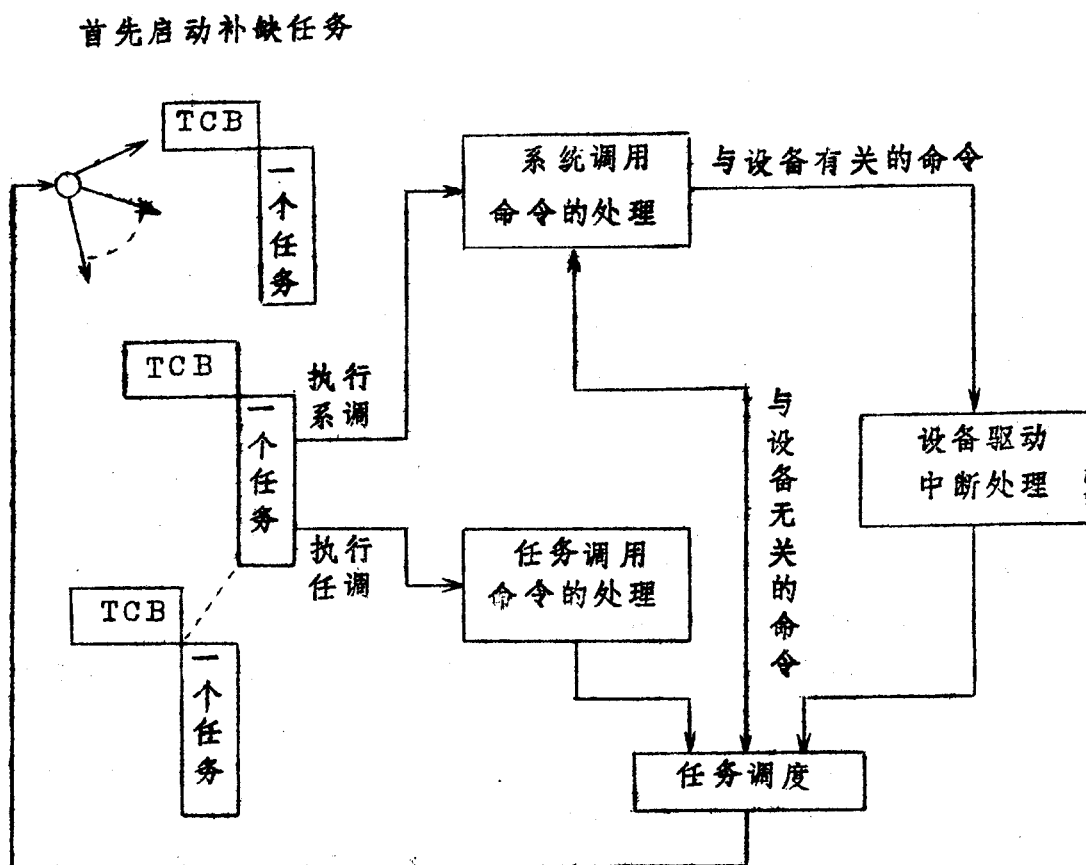
(1) 行式（对于标准外部设备）：处理ASCII字符串，以介符（CR、FF、NULL）为一行的结束标志，一行字符的个数不得超过132<sub>10</sub>。一个I/O命令仅能处理一行字符（用此方式不必规定数据字符个数），并根据设备特性对ASCII字符进行加工（如回车后加换行，须进行奇偶校验等）。

(2) 顺序方式（对于标准外部设备）：传送8位二进制数据之用，它没有“行”的概念，一个命令传送用户所指定字节数的8位二进制数据（即由用户给出的字节数来控制传送的结束）。此方式为不经加工直接传送。

(3) 直接段式（对于磁盘）：此方式仅对磁盘连续文件以盘区为单位进行传送，而且传送时内存单元与磁盘盘区都必须具有连续性。因为本方式是内存与磁盘直接传送数据，故称直接段式。RTOS系统的磁盘文件传送数据仅此一种方式。

(4) 自由格式I/O方式（对于磁带）：本方式仅对磁带文件与内存传送数据之用，而且对于磁带及小匣装磁带均仅此一种I/O方式。本方式能读写各种记录长度的磁带文件，一个记录的长度可在2—4095<sub>10</sub>字范围内自由选定。传送以字为单位，不是以字节为单位。一个I/O命令传送一个记录（对于写）或不得超过一个记录（对于读），传送的字数由用户给定，如需正或反向空走，则须给定记录数（记录数可在1~4095<sub>10</sub>内自由选定）。

## § 5 RTOS 总示意图



(图 1.4)

## § 6 RTOS 操作系统的用户观点——给用户提供的工作环境

使用配有操作系统的计算机的用户都具有同样的心情，对计算机的细节问题，如操作系统的内部结构和实现方法是不关心的，而且也没有必要关心，而对系统提供的功能和系统服务的质量是关心的，而且也有必要关心。RTOS系统的用户也是这样。为此我们在此简要说

明配有 RTOS 的 130 机展现在用户面前是怎样的一台机器。

1. 这是一台比 130 机功能更强的机器，它不仅具有 22 条基本指令，而且还具有 46 条命令。

2. 这是一台使用起来更方便的机器，在输入输出时，不仅用户不须用 I/O 指令，只要简单地用输入输出命令；而且，展现在用户面前的机器已不再具有中断的概念。用户使用这种机器不必担心其他任务也可能使用同一设备，也不必担心系统也可能使用同一设备。这些都由系统来管理。

3. 这是一台高效率的机器，在这台机器上，可运行多个任务，允许其并行工作。这种机器不可能发生“有事而不去干”的现象。

用户在使用这台机器的时候，不仅对系统设备可以使用系统所提供的命令，而且还很方便地使用用户自己特有的设备——即用户设备。

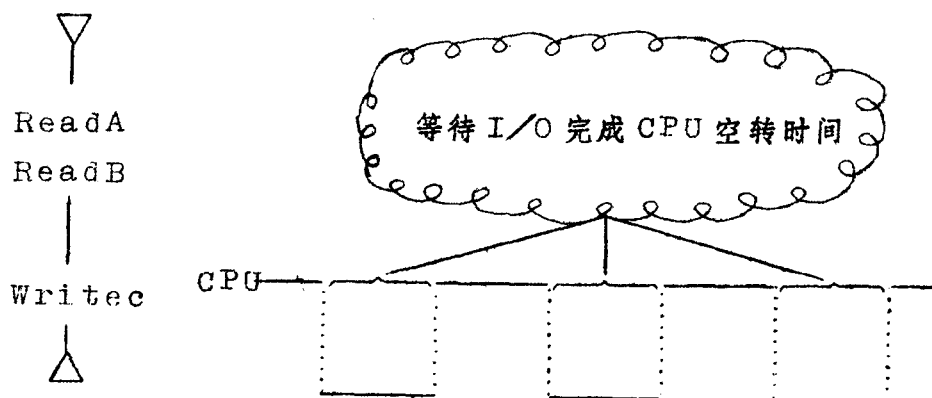
## 第二章 处理机管理 设备管理 实时钟管理

### § 1 处理机管理

设计操作系统的主要任务之一是有效地管理计算机的硬软资源，减少输入输出时的CPU空转时间。为此操作系统把分配系统资源（如设备、要求CPU控制等）的可单独执行部分定义为一个任务，从而就引进了一个“多任务”概念。

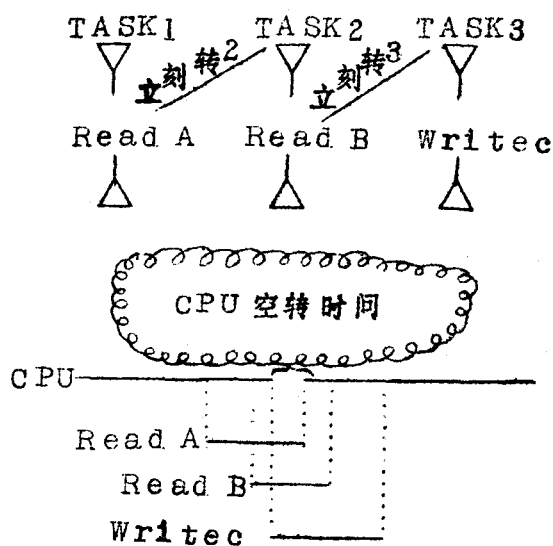
下面我们举一个例来比较一下单任务和多任务CPU的利用率问题。

设用户程序中由终端A和B读入数据，由终端C写入数据进行处理的情况。若用单任务来考虑，则如下图



上面这种情况就浪费了很多A、B输入数据以及C写入数据的空间时间。但利用多任务并行处理，就能大大减少CPU空转时间。

我们把上面A、B、C三种I/O分成三个任务，分别为TASK<sub>1</sub>，TASK<sub>2</sub>，TASK<sub>3</sub>，设TASK<sub>1</sub>优于TASK<sub>2</sub>，TASK<sub>2</sub>优于TASK<sub>3</sub>，示意图如下：



从上述例子可以看出多任务处理大大减少了CPU空转时间。

### 1. 任务

任务是逻辑上完整的一个程序，它也是分配系统资源的可单独执行部分。所谓多任务系统，是并行处理若干逻辑上彼此独立的任务系统，在多任务系统中，常常有多个任务为利用系统资源互争的情形，但在任何给定时刻只有一个任务能得到CPU的控制和系统资源。资源的分配是由调度程序按各任务的状态和优先级进行的。也就是说，从微观地看，并不是并行执行，只有从宏观地看，才可以说是并行执行。

#### (2) 任务的名称

任务是在用户程序中产生的，为了便于系统管理，可以给任务一个标识号用以标识某个任务，起任务名称的作用。标识号可在1~377范围内指定。

一个标识号只能分配给一个任务，即不同任务标识号不能相同。标识为另，表示该任务没有名称。因此可以有多个标识号为另的任务。

系统可以利用标识号来控制任务；一个任务可以利用标识号同另一任务打交道。

#### (2) 任务的优先级

RTOS控制下的每个任务是按优先级来排队执行的，它们的优先级可以根据用户程序的需要来确定。优先级可在0~377范围内指

定，优先级另为最高，377为最低。不同任务可以有同一优先级。

### (3) 任务的状态

在RTOS中，所有任务并不是永恒存在或不变的，需要时可以建立，完成了所作的工作可以撤消。用户程序刚开始运行时，它仅有一个任务，以后才根据需要建立起各个任务。任务在建立之后，它就具有了生命，处于动态变化之中，任务状态就是用来刻划这种变化的。

任务可以处于以下四种不同的状态：

执行状态：任务得到CPU控制，正在运行。

准备状态：具备了执行条件，但由于优先级的原故，而未轮到执行所处的状态。

挂起状态：任务由于某种原因暂停执行，暂停原因撤消后才有条件获得处理机。

潜伏状态：任务建立前或撤消后的状态，此类任务若无其它任务将它建立起来，根本不可能获得处理机。

任务状态是在任务调度时决定能否获得处理机的主要依据。处于准备状态的任务是任务调度的对象，其中优先级最高的任务可以获得处理机；处于挂起状态的任务将被跳过；处于潜伏状态的任务不受任务调度的管理，根本无法获得处理机。

任务状态可因某种原因发生变化，它可以来自任务本身，也可以来自其它任务的命令而改变状态。（图见下页）

## 2. 任务调度

### (1) 处理机分配原则

在多任务系统中，各任务互争CPU控制。任务只有获得CPU的控制，才能获得其它系统资源（外设、外存等）的分配，因此处理机分配是一个核心问题；此外考虑到系统的效率必需解决多任务并行处理问题，所以必须按一定的原则来进行调度。

RTOS调度原则是这样的：

处于准备状态的任务按优先级次序，从高到低排，当任一任务的状态发生变化时，就取出准备队列中优先级最高的任务执行。对于同一优先级的任务，则依照循环排队处理。