

第 7 章	内存管理.....	1
7.0	内存控制块	2
7.1	建立一个内存分区, OSMEMCREATE ()	3
7.2	分配一个内存块, OSMEMGET ()	5
7.3	释放一个内存块, OSMEMPUT ()	6
7.4	查询一个内存分区的状态, OSMEMQUERY ()	7
7.5	USING MEMORY PARTITIONS	8
7.6	等待一个内存块	10

第 7 章 内存管理

我们知道，在 ANSI C 中可以用 `malloc()` 和 `free()` 两个函数动态地分配内存和释放内存。但是，在嵌入式实时操作系统中，多次这样做会把原来很大的一块连续内存区域，逐渐地分割成许多非常小而且彼此又不相邻的内存区域，也就是内存碎片。由于这些碎片的大量存在，使得程序到后来连非常小的内存也分配不到。在 4.02 节的任务堆栈中，我们讲到过用 `malloc()` 函数来分配堆栈时，曾经讨论过内存碎片的问题。另外，由于内存管理算法的原因，`malloc()` 和 `free()` 函数执行时间是不确定的。

在 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 中，操作系统把连续的大块内存按分区来管理。每个分区中包含有整数个大小相同的内存块，如同图 F7.1。利用这种机制， $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 对 `malloc()` 和 `free()` 函数进行了改进，使得它们可以分配和释放固定大小的内存块。这样一来，`malloc()` 和 `free()` 函数的执行时间也是固定的了。

如图 F7.2，在一个系统中可以有多个内存分区。这样，用户的应用程序就可以从不同的内存分区中得到不同大小的内存块。但是，特定的内存块在释放时必须重新放回它以前所属于的内存分区。显然，采用这样的内存管理算法，上面的内存碎片问题就得到了解决。

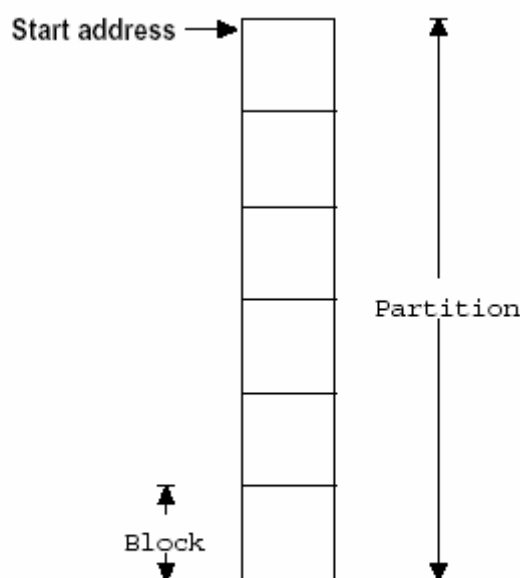


Figure 7-1, Memory partition

图 F7.1 内存分区——Figure 7.1

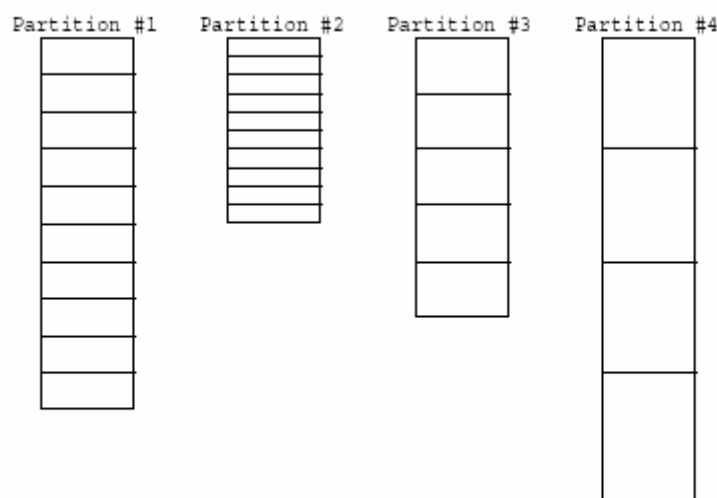


Figure 7-2, Multiple memory partitions.

图 F7.2 多个内存分区——Figure 7.2

7.0 内存控制块

为了便于内存的管理，在 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 中使用内存控制块（memory control blocks）的数据结构来跟踪每一个内存分区，系统中的每个内存分区都有它自己的内存控制块。程序清单 L7.1 是内存控制块的定义。

程序清单 L7.1 内存控制块的数据结构

```
typedef struct {
    void    *OSMemAddr;
    void    *OSMemFreeList;
    INT32U  OSMemBlkSize;
    INT32U  OSMemNBlks;
    INT32U  OSMemNFree;
} OS_MEM;
```

.OSMemAddr 是指向内存分区起始地址的指针。它在建立内存分区[见 7.1 节，建立一个内存分区，OSMemCreate()]时被初始化，在此之后就不能更改了。

.OSMemFreeList 是指向下一个空闲内存控制块或者下一个空闲的内存块的指针，具体含义要根据该内存分区是否已经建立来决定[见 7.1 节]。

.OSMemBlkSize 是内存分区中内存块的大小，是用户建立该内存分区时指定的[见 7.1 节]。

.OSMemNBlks 是内存分区中总的内存块数量，也是用户建立该内存分区时指定的[见 7.1 节]。

.OSMemNFree 是内存分区中当前可以得空闲内存块数量。

如果要在 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 中使用内存管理，需要在 OS_CFG.H 文件中将开关量 OS_MEM_EN 设置为 1。这样 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 在启动时就会对内存管理器进行初始化[由 OSInit() 调用 OSMemInit() 实现]。该初始化主要建立一个图 F7.3 所示的内存控制块链表，其中的常数 OS_MAX_MEM_PART（见文件 OS_CFG.H）定义了最大的内存分区数，该常数值至少应为 2。

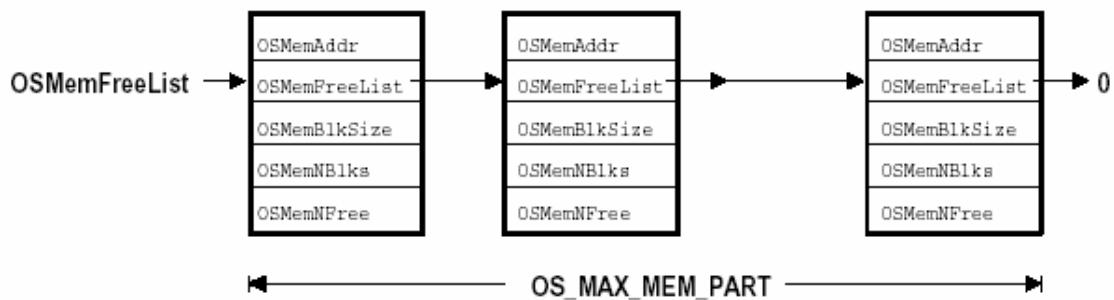


Figure 7-3, List of free memory control blocks.

图 F7.3 空闲内存控制块链表——Figure 7.3

7.1 建立一个内存分区，OSMemCreate()

在使用一个内存分区之前，必须先建立该内存分区。这个操作可以通过调用 OSMemCreate() 函数来完成。程序清单 L7.2 说明了如何建立一个含有 100 个内存块、每个内存块 32 字节的内存分区。

程序清单 L7.2 建立一个内存分区

```

OS_MEM *CommTxBuf;
INT8U   CommTxPart[100][32];

void main (void)
{
    INT8U err;

    OSInit();
    .
    .
    CommTxBuf = OSMemCreate(CommTxPart, 100, 32, &err);
    .
    .
    OSStart();
}

```

程序清单 L7.3 是 OSMemCreate() 函数的源代码。该函数共有 4 个参数：内存分区的起始地址、分区内的内存块总块数、每个内存块的字节数和一个指向错误信息代码的指针。如果 OSMemCreate() 操作失败，它将返回一个 NULL 指针。否则，它将返回一个指向内存控制块的指针。对内存管理的其它操作，象 OSMemGet(), OSMemPut(), OSMemQuery() 函数等，都要通过该指针进行。

每个内存分区必须含有至少两个内存块[L7.3(1)]，每个内存块至少为一个指针的大小，因为同一分区中的所有空闲内存块是由指针串联起来的[L7.3(2)]。接着，OSMemCreate()从系统中的空闲内存控制块中取得一个内存控制块[L7.3(3)]，该内存控制块包含相应内存分区的运行信息。OSMemCreate()必须在有空闲内存控制块可用的情况下才能建立一个内存分区[L7.3(4)]。在上述条件均得到满足时，所要建立的内存分区内的所有内存块被链接成一个单向的链表[L7.3(5)]。然后，在对应的内存控制块中填写相应的信息[L7.3(6)]。完成上述各动作后，OSMemCreate()返回指向该内存块的指针。该指针在以后对内存块的操作中使用[L7.3(6)]。

程序清单 L7.3 OSMemCreate()

```
OS_MEM *OSMemCreate (void *addr, INT32U nblks, INT32U blksize, INT8U *err)
{
    OS_MEM  *pmem;
    INT8U    *pblk;
    void     **plink;
    INT32U   i;

    if (nblks < 2) {                                     (1)
        *err = OS_MEM_INVALID_BLKS;
        return ((OS_MEM *)0);
    }
    if (blksize < sizeof(void *)) {                     (2)
        *err = OS_MEM_INVALID_SIZE;
        return ((OS_MEM *)0);
    }
    OS_ENTER_CRITICAL();
    pmem = OSMemFreeList;                               (3)
    if (OSMemFreeList != (OS_MEM *)0) {
        OSMemFreeList = (OS_MEM *)OSMemFreeList->OSMemFreeList;
    }
    OS_EXIT_CRITICAL();
    if (pmem == (OS_MEM *)0) {                           (4)
        *err = OS_MEM_INVALID_PART;
        return ((OS_MEM *)0);
    }
    plink = (void **)addr;                               (5)
    pblk = (INT8U *)addr + blksize;
    for (i = 0; i < (nblks - 1); i++) {
        *plink = (void *)pblk;
        plink = (void **)pblk;
    }
}
```

```

    pblk    = pblk + blksize;
}
*plink = (void *)0;
OS_ENTER_CRITICAL();
pmem->OSMemAddr      = addr;
pmem->OSMemFreeList   = addr;
pmem->OSMemNFree      = nblks;
pmem->OSMemNBlks      = nblks;
pmem->OSMemBlkSize    = blksize;
OS_EXIT_CRITICAL();
*err    = OS_NO_ERR;
return (pmem);
}

```

(6)

(7)

图 F7.4 是 OSMemCreate() 函数完成后，内存控制块及对应的内存分区和分区内的内存块之间的关系。在程序运行期间，经过多次的内存分配和释放后，同一分区内的各内存块之间的链接顺序会发生很大的变化。

7.2 分配一个内存块，OSMemGet()

应用程序可以调用 OSMemGet() 函数从已经建立的内存分区中申请一个内存块。该函数的唯一参数是指向特定内存分区的指针，该指针在建立内存分区时，由 OSMemCreate() 函数返回。显然，应用程序必须知道内存块的大小，并且在使用时不能超过该容量。例如，如果一个内存分区内的内存块为 32 字节，那么，应用程序最多只能使用该内存块中的 32 字节。当应用程序不再使用这个内存块后，必须及时把它释放，重新放入相应的内存分区中[见 7.03 节，释放一个内存块，OSMemPut()]。

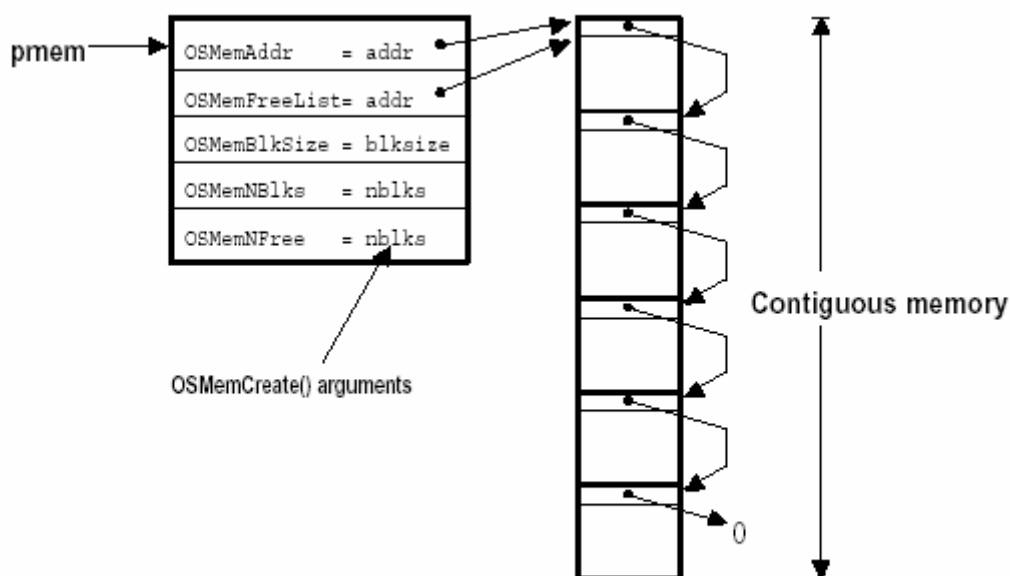


Figure 7-4, OSMemCreate()

图 F7.4 OSMemCreate()——Figure 7.4

程序清单 L7.4 是 OSMemGet() 函数的源代码。参数中的指针 pmem 指向用户希望从其中分配内存块的内存分区[L7.4(1)]。OSMemGet() 首先检查内存分区中是否有空闲的内存块[L7.4(2)]。如果有，从空闲内存块链表中删除第一个内存块[L7.4(3)]，并对空闲内存块链表作相应的修改 [L7.4(4)]。这包括将链表头指针后移一个元素和空闲内存块数减 1[L7.4(5)]。最后，返回指向被分配内存块的指针[L7.4(6)]。

程序清单 L7.4 OSMemGet()

```
void *OSMemGet (OS_MEM *pmem, INT8U *err) (1)
{
    void *pblk;

    OS_ENTER_CRITICAL();
    if (pmem->OSMemNFree > 0) { (2)
        pblk = pmem->OSMemFreeList; (3)
        pmem->OSMemFreeList = *(void **)pblk; (4)
        pmem->OSMemNFree--; (5)
        OS_EXIT_CRITICAL();
        *err = OS_NO_ERR;
        return (pblk); (6)
    } else {
        OS_EXIT_CRITICAL();
        *err = OS_MEM_NO_FREE_BLKs;
        return ((void *)0);
    }
}
```

值得注意的是，用户可以在中断服务子程序中调用 OSMemGet()，因为在暂时没有内存块可用的情况下，OSMemGet() 不会等待，而是马上返回 NULL 指针。

7.3 释放一个内存块，OSMemPut()

当用户应用程序不再使用一个内存块时，必须及时地把它释放并放回到相应的内存分区中。这个操作由 OSMemPut() 函数完成。必须注意的是，OSMemPut() 并不知道一个内存块是属于哪个内存分区的。例如，用户任务从一个包含 32 字节内存块的分区中分配了一个内存块，用完后，把它返还给了一个包含 120 字节内存块的内存分区。当用户应用程序下一次申请 120 字节分区中的一个内存块时，它会只得到 32 字节的可用空间，其它 88 字节属于其它的任务，这就有可能使系统崩溃。

程序清单 L7.5 是 OSMemPut() 函数的源代码。它的第一个参数 pmem 是指向内存控制块的指针，也即内存块属于的内存分区[L7.5(1)]。OSMemPut() 首先检查内存分区是否已满 [L7.5(2)]。如果已满，说明系统在分配和释放内存时出现了错误。如果未滿，要释放的内存

块被插入到该分区的空闲内存块链表中[L7.5(3)]。最后，将分区中空闲内存块总数加1[L7.5(4)]。

程序清单 L7.5 OSMemPut()

```
INT8U OSMemPut (OS_MEM *pmem, void *pblk) (1)
{
    OS_ENTER_CRITICAL();
    if (pmem->OSMemNFree >= pmem->OSMemNBlks) { (2)
        OS_EXIT_CRITICAL();
        return (OS_MEM_FULL);
    }
    *(void **)pblk = pmem->OSMemFreeList; (3)
    pmem->OSMemFreeList = pblk;
    pmem->OSMemNFree++; (4)
    OS_EXIT_CRITICAL();
    return (OS_NO_ERR);
}
```

7.4 查询一个内存分区的状态，OSMemQuery()

在 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 中，可以使用 OSMemQuery() 函数来查询一个特定内存分区的有关消息。通过该函数可以知道特定内存分区中内存块的大小、可用内存块数和正在使用的内存块数等信息。所有这些消息都放在一个叫 OS_MEM_DATA 的数据结构中，如程序清单 L7.6。

程序清单 L7.6 OS_MEM_DATA 数据结构

```
typedef struct {
    void *OSAddr; /* 指向内存分区首地址的指针 */
    void *OSFreeList; /* 指向空闲内存块链表首地址的指针 */
    INT32U OSBlkSize; /* 每个内存块所含的字节数 */
    INT32U OSNBlks; /* 内存分区总的内存块数 */
    INT32U OSNFree; /* 空闲内存块总数 */
    INT32U OSNUsed; /* 正在使用的内存块总数 */
} OS_MEM_DATA;
```

程序清单 L7.7 是 OSMemQuery() 函数的源代码，它将指定内存分区的信息复制到 OS_MEM_DATA 定义的变量的对应域中。在此之前，代码首先禁止了外部中断，防止复制过程中某些变量值被修改[L7.7(1)]。由于正在使用的内存块数是由 OS_MEM_DATA 中的局部变量计算得到的，所以，可以放在 (critical section 中断屏蔽) 的外面。

程序清单 L7.7 OSMemQuery()

```
INT8U OSMemQuery (OS_MEM *pmem, OS_MEM_DATA *pdata)
{
```



```

    OS_ENTER_CRITICAL();
    pdata->OSAddr      = pmem->OSMemAddr;           (1)
    pdata->OSFreeList = pmem->OSMemFreeList;
    pdata->OSBlkSize  = pmem->OSMemBlkSize;
    pdata->OSNBlks    = pmem->OSMemNBlks;
    pdata->OSNFree     = pmem->OSMemNFree;
    OS_EXIT_CRITICAL();
    pdata->OSNUsed     = pdata->OSNBlks - pdata->OSNFree; (2)
    return (OS_NO_ERR);
}

```

7.5 Using Memory Partitions

图 F7.5 是一个演示如何使用 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 中的动态分配内存功能，以及利用它进行消息传递[见第 6 章]的例子。程序清单 L7.8 是这个例子中两个任务的示意代码，其中一些重要代码的标号和图 F7.5 中括号内用数字标识的动作是相对应的。

第一个任务读取并检查模拟输入量的值（如气压、温度、电压等），如果其超过了一定的阈值，就向第二个任务发送一个消息。该消息中含有时间信息、出错的通道号和错误代码等可以想象的任何可能的信息。

错误处理程序是该例子的中心。任何任务、中断服务子程序都可以向该任务发送出错消息。错误处理程序则负责在显示设备上显示出错信息，在磁盘上登记出错记录，或者启动另一个任务对错误进行纠正等。

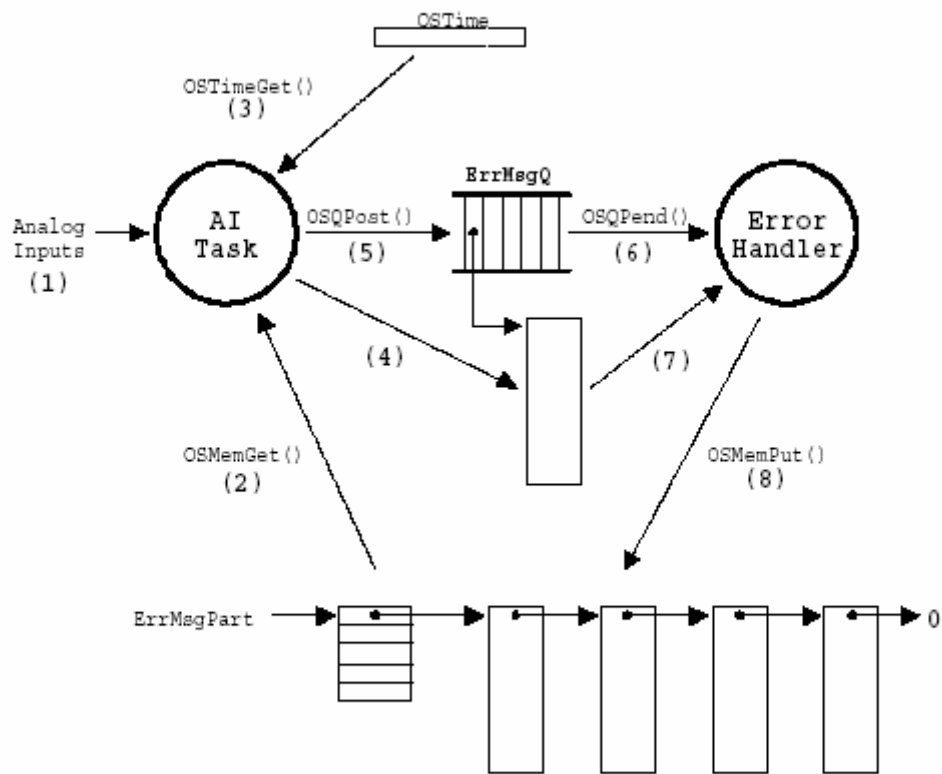


Figure 7-5, Using dynamic memory allocation.

图 F7.5 使用动态内存分配——Figure 7.5

程序清单 L7.8 内存分配的例子——扫描模拟量的输入和报告出错

```

AnalogInputTask()
{
    for (;;) {
        for (所有的模拟量都有输入) {
            读入模拟量输入值;                                     (1)
            if (模拟量超过阈值) {
                得到一个内存块;                                     (2)
                得到当前系统时间 (以时钟节拍为单位);             (3)
                将下列各项存入内存块:                               (4)
                    系统时间 (时间戳);
                    超过阈值的通道号;
                    错误代码;
                    错误等级;
                    等.
                向错误队列发送错误消息;                             (5)
            }
        }
    }
}
  
```

```

                                (一个指向包含上述各项的内存块的指针)
                                }
                                }
    延时任务,直到要再次对模拟量进行采样时为止;
}
}

ErrorHandlerTask()
{
    for (;;) {
        等待错误队列的消息;                                (6)
        (得到指向包含有关错误数据的内存块的指针)
        读入消息,并根据消息的内容执行相应的操作;          (7)
        将内存块放回到相应的内存分区中;                    (8)
    }
}

```

7.6 等待一个内存块

有时候,在内存分区暂时没有可用的空闲内存块的情况下,让一个申请内存块的任务等待也是有用的。但是,μC/OS-II 本身在内存管理上并不支持这项功能。如果确实需要,则可以通过为特定内存分区增加信号量的方法,实现这种功能(见 6.05 节,信号量)。应用程序为了申请分配内存块,首先要得到一个相应的信号量,然后才能调用 OSMemGet() 函数。整个过程见程序清单 L7.9。

程序代码首先定义了程序中使用到的各个变量[L7.9(1)]。该例中,直接使用数字定义了各个变量的大小,实际应用中,建议将这些数字定义成常数。在系统复位时,μC/OS-II 调用 OSInit() 进行系统初始化[L7.9(2)],然后用内存分区中总的内存块数来初始化一个信号量[L7.9(3)],紧接着建立内存分区[L7.9(4)]和相应的要访问该分区的任务[L7.9(5)]。当然,到此为止,我们对如何增加其它的任务也已经很清楚了。显然,如果系统中只有一个任务使用动态内存块,就没有必要使用信号量了。这种情况不需要保证内存资源的互斥。事实上,除非我们要实现多任务共享内存,否则连内存分区都不需要。多任务执行从 OSStart() 开始[L7.9(6)]。当一个任务运行时,只有在信号量有效时[L7.9(7)],才有可能得到内存块[L7.9(8)]。一旦信号量有效了,就可以申请内存块并使用它,而没有必要对 OSSemPend() 返回的错误代码进行检查。因为在这里,只有当一个内存块被其它任务释放并放回到内存分区后,μC/OS-II 才会返回到该任务去执行。同理,对 OSMemGet() 返回的错误代码也无需做进一步的检查(一个任务能得以继续执行,则内存分区中至少有一个内存块是可用的)。当一个任务不再使用某内存块时,只需简单地将它释放并返还到内存分区[L7.9(9)],并发送该信号量[L7.9(10)]。

程序清单 L7.9 等待从一个内存分区中分配内存块

```

OS_EVENT  *SemaphorePtr;                                (1)

```

```

OS_MEM    *PartitionPtr;
INT8U     Partition[100][32];
OS_STK     TaskStk[1000];

void main (void)
{
    INT8U err;

    OSInit();                                     (2)
    .
    .
    SemaphorePtr = OSSemCreate(100);              (3)
    PartitionPtr = OSMemCreate(Partition, 100, 32, &err); (4)
    .
    OSTaskCreate(Task, (void *)0, &TaskStk[999], &err); (5)
    .
    OSStart();                                    (6)
}

void Task (void *pdata)
{
    INT8U err;
    INT8U *pblock;

    for (;;) {
        OSSemPend(SemaphorePtr, 0, &err);          (7)
        pblock = OSMemGet(PartitionPtr, &err);      (8)
        .
        . /* 使用内存块 */
        .
        OSMemPut(PartitionPtr, pblock);              (9)
        OSSemPost(SemaphorePtr);                     (10)
    }
}

```