C程序设计语言

第7章 I/O

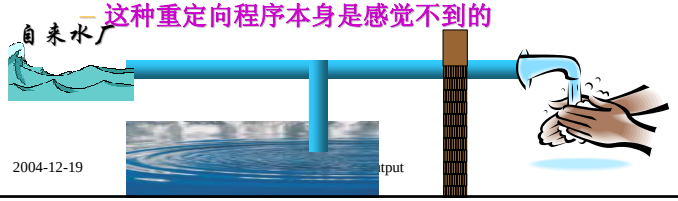
孙志岗
sun@hit.edu.cn
http://sunner.cn

I/O设备

- 输入设备
  - 键盘、鼠标
  - 软盘、硬盘、光驱（以文件的形式）
  - 串行口、并行口、USB接口、IEEE1394口、网络端口
  - 扫描仪、视频采集卡、电视卡、游戏杆、话筒
  - ……
- 输出设备
  - 显示器、打印机
  - 软盘、硬盘、CD-RW/DVD-RW（以文件的形式）
  - 串行口、并行口、USB接口、IEEE1394口、网络端口
  - 音箱
  - ……
- 单纯的输入设备或者单纯的输出设备越来越少

标准输入输出

- 字符界面的操作系统一般都提供标准输入与输出设备
  - DOS、Linux、Unix……
- 一般情况，标准输入就是键盘，标准输出就是终端显示器
  - 操作系统有能力重定向标准输入与输出，比如让文件作为标准输入，打印机作为标准输出
  - 这种重定向程序本身是感觉不到的



DOS下的标准输入输出重定向

- 程序prog.c如下

```
main()
{
    char c;
    while ((c=getchar()) != '\n')
        putchar(++c);
}
```

- 输入重定向
  - `prog.exe < infile`
- 输出重定向
  - `prog.exe > outfile`

格式化输出——printf

- `int printf(const char *format,`
  `参数1,`
  `参数2,`
  `…);`
- 参数format是用来控制格式的字符串
  - 具体格式查阅参考书
  - 常用转换字符：%d、%c、%s、%.2f、%u、%ld
- 返回值是最后输出的字符串长度，出错返回EOF
- printf并不对参数的类型及个数进行检查，所以一定要确切地把参数和前面的转换字符匹配好
- 这种参数形式不仅在C语言里应用广泛，很多其它语言、类库也对此进行了模仿、扩充
- 相似的库函数
  - sprintf、fprintf

格式化输入——scanf

- `int scanf(const char *format,`
  `参数1,`
  `参数2,`
  `…);`
- 参数format是用来控制格式的字符串
  - 具体格式查阅参考书
  - 常用转换字符：%d、%c、%s、%f、%u、%ld
- 返回值是成功匹配的输入项的个数，遇到结尾返回EOF
- 所有参数必须是指针，且类型要与前面的转换字符匹配好
- 相似的库函数
  - sscanf、fscanf
- 使用不当，很容易造成恶性后果

外存

- 磁盘（Magnetic disks）
- 光盘（CD、DVD）
- U盘（Flash Memory）
- ……
- 数据断电后不丢失

外存原理

- 磁盘表面涂有磁性物质
- 磁性单元的N-S极的两种指向表示0-1

外存原理

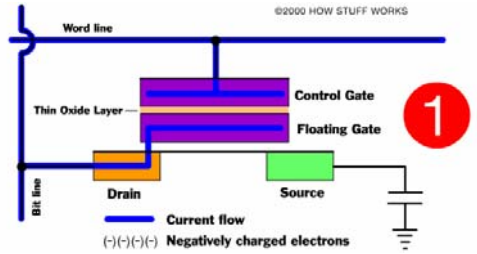
- 光盘表面有一层特殊介质
- 介质的高低不平的交替表示0-1

光盘表面

读盘原理(CD机)

外存原理

- Flash Memory是一种电化学存储介质
- 电流的通断表示0-1

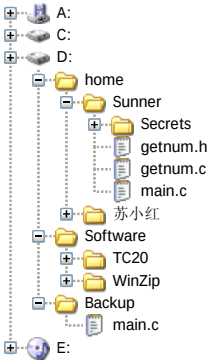


文件（File）

- 为什么需要文件？
  - 我们需要数据在断电后依然存在，需要外存
  - 外存原理迥异，如果必须按其特性使用，悲惨世界
- 文件哪里来？
  - 操作系统有一个模块，叫“文件系统”
  - 文件系统封装了外存的特性，让我们可以用同一个接口使用不同外存
  - 这个接口就是“文件”
- 原理
  - 操作系统决定文件在介质上的保存位置
- 使用文件需要知道
  - 目录结构，文件结构，命令接口，开发接口

目录结构（Directory Tree）

- 树形的目录结构是文件系统的事实标准
- 每个文件都可以被唯一的“绝对路径（Absolute Path）”表示
- 在DOS/Windows下：
  - D:\home\Sunner\main.c
- 在Unix/Linux下
  - /D/home/Sunner/main.c
- 相对路径（Relative Path）：
  - main.c
  - 在不同的当前路径指代不同的文件



文件结构（File Structure）

- 文件在外存存储就和数据在内存保存一样
  - 都是数据二进制形式的保存
  - 介质不关心数据类型
  - 你把数据当作是什么类型，它就是什么类型
  - 如果以类型A的二进制形式存入，却当作类型B读出，就乱套了
- 所以，读文件前，必须确切知道文件每一个字节的确切类型和含义
  - 所以才有标准的mp3、bmp、jpg等文件
- 两种文件读写方式
  - 二进制方式和文本方式

文本文件与二进制文件

- 文件都是二进制的
- 为方便使用，硬性定义一种“文本文件（Text File）”
  - 所有内容都是可打印字符的文件
    - .txt、.c、.h、.htm……
  - 与之相对的就是所谓“二进制文件（Binary File）”
    - .exe、.bmp、.mp3、.jpg、.doc、.swf……
- 按二进制方式读写文件，保持数据原状
  - 平实地反映数据和文件的真面貌，不做任何处理

按文本方式读写文件

DOS/Windows下：

- 用"\r\n"表示换行
- 按文本文件写入"\n"，会自动写入"\r\n"
- 假设文件中有"\r\n"这样的连续字符
- 按文本文件读，只能得到"\n"

Unix/Linux下：

- 用"\n"表示换行
- 文本方式和二进制方式没有区别

Mac下：

- 用"\r"表示换行
- 写入"\n"，自动改为"\r"（未验证）
- 读入"\r"，自动转为"\n"（未验证）

命令接口

- 操作系统界面（Shell）提供的文件操作命令
- DOS下：
  - copy、del、move、type……
- Windows下：
  - 鼠标拖拽、ctrl+c,v、ctrl+x,v……
- Unix/Linux下：
  - cp、rm、mv、cat……
- 命令接口都是一些用开发接口编写的程序

开发接口

- 给程序员在程序中使用的接口
- DOS下：
  - INT 21H……
- Windows下：
  - CreateFile()、ReadFile()、WriteFile()、ClostHandle()……
- Unix/Linux下：
  - open、read、write、close……
- 很多语言提供了自己的访问文件接口，它们都是基于操作系统提供的接口实现的

文件访问的基本模式

- *open*：打开文件，获得对此文件的指针、引用和句柄等，以后通过它们使用此文件
- *read*：读文件。参数一般指明要读多少字节，读到哪块内存
- *write*：写文件。参数一般指明把哪块内存的内容写入文件，要写多少字节
- *close*：关闭文件，表明操作结束，本程序不再使用此文件。open后要及时关闭。
- *file position*：
  - 一个变量，其值表示距离文件头部的偏移量
  - 每次read或write都从这里开始
  - read/write结束后，变量自动加上读/写的字节数
- *seek*：随时调整file position

TC中的打开文件

- 下面介绍的函数均定义在TC的<io.h>中
- `int open(const char *pathname, int access);`
  - `int fd = open("C:\\AUTOEXEC.BAT", O_RDWR | O_CREAT | O_TEXT);`
- `filename`是文件名，包含路径。如果不含路径，表示打开当前目录下的文件
- `access`是打开方式，常用为`O_RDONLY`、`O_WRONLY`、`O_RDWR`与`O_CREAT`、`O_TRUNC`、`O_APPEND`以及`O_TEXT`、`O_BINARY`的或运算
- 返回值为文件句柄（File Handle），留待以后使用。如果打开失败，返回值为`-1`

TC中的读文件

- `int read(int handle, void *buf, unsigned len);`
  - `int n_read = read(fd, buf, BUFSIZE);`
- `handle`是`open`获得的文件句柄
- 读入的数据将保存在`buf`指向的内存
- `len`是最大允许读入的字节数
- 返回值为实际读入的字节数，可能小于`len`。返回`0`表示读到了末尾，返回`-1`表示出错

TC中的写文件

- `int write(int handle, const void *buf, unsigned nbyte);`
  - `int n_write = write(fd, buf, BUFSIZ);`
- handle是open获得的文件句柄
- buf指向的数据被写入文件
- nbyte是写入多少字节
- 返回值为实际写入的字节数，可能小于nbyte。返回-1表示出错

TC中的关闭文件

- `int close(int handle);`
  - `int ret = close(fd);`
- handle是open获得的文件句柄
- 关闭成功返回0，否则返回-1

TC中的文件随机访问

- `long lseek(int handle, long offset, int fromwhere);`
  - `int pos = lseek(fd, 100L, SEEK_CUR);`
- handle是open获得的文件句柄
- offset是相对fromwhere的位置偏移多少，可以为负数
- fromwhere可以是SEEK_SET、SEEK_CUR或SEEK_END中的一个，分别表示文件头部、当前位置和文件末尾
- 成功返回移位后的当前位置，从文件头算起；否则返回-1L

标准的文件操作

- open()、read()、write()、close()和lseek()并不是ANSI C支持的
- 它们定义在POSIX标准中
  - POSIX是Unix/Linux等众多操作系统遵循的标准，Windows下也有支持POSIX的编译器（Cygwin）
  - 在POSIX的世界里具有可移植性（TC并没有完全遵守这个标准）
- ANSI C有自己的标准文件操作函数
  - 它们包装了操作系统提供的文件操作接口
  - 在C语言的世界里具有可移植性

ANSI C的打开文件

- 下面介绍的函数均定义在<stdio.h>中
- FILE* fopen(const char *filename,
  const char *mode);
  - FILE *fp = fopen("C:\\AUTOEXEC.BAT",
    "r+");
- filename是文件名，包含路径。如果不含路径，表示打开当前目录下的文件
- mode是打开方式，常用为
  - "r"、"w"、"a"，分别表示只读、只写（如文件已存在，则覆盖，否则建立新文件）和添加（文件位置指针指向末尾。如文件不存在，就建立新文件）
  - "+"用在"r"、"w"、"a"之后，表示按读写方式打开
  - "b"和上面的各种组合合用（不可做第一个字符），表示按二进制方式打开，否则就是文本方式（Unix/Linux下忽略）
- 返回值是什么？

fopen的返回值

- FILE是C语言定义的一个结构类型
  - 不同的库在成员的定义上会有所不同
  - stdin、stdout和stderr的类型是FILE*
- fopen成功后
  - 建立一个FILE结构的全局变量，该变量里记录了访问文件的重要信息
    - 文件位置标记，缓冲区指针，文件句柄等
  - 该变量的地址作为返回值返回
- fopen失败后
  - 返回NULL

ANSI C的文件操作

```
int fgetc(FILE *fp);
int fputc(int c, FILE *fp);
char *fgets(char *s,
            int n,
            FILE *fp);
int fputs(const char *s,
          FILE *fp);
int fscanf(FILE *fp,
           const char *format,
           ...);
int fprintf(FILE *fp,
            const char *format,
            ...);
```


ANSI C的文件操作

```
size_t fread(void *ptr,
             size_t size,
             size_t nmemb,
             FILE *fp);
size_t fwrite(const void *ptr,
              size_t size,
              size_t nmemb,
              FILE *fp);
int feof(FILE *fp);
int fseek(FILE *fp,
          long offset,
          int whence);
long ftell(FILE *fp);
int fflush(FILE *fp);
int fclose(FILE *fp);
```

copy_err.c

错误处理

- 文件操作是事故多发区
  - 文件不存在
  - 磁盘满
  - 写一个只读文件，读一个只写文件
  - 设备损坏
  - ……
- 在事故发生时，程序必须能自如应对，这就需要错误处理技术

错误处理技术

- assert
  - 一个宏，处理由程序bug引起的错误
    - bug解除，就不会abort了
  - 最终的执行文件中不应该包含assert
    - bug已经都消灭了
  - 在#include<assert.h>之前，#define NDEBUG，所有assert失效
- 分支
  - 处理由外界引起的错误
    - 用户输入、文件、内存、系统……
  - 需要仔细规划流程，用简单、直接的方法处理复杂的错误

针对文件的错误处理策略

函数	当返回值	常用策略
fopen()	==NULL	转入错误处理流程
fprintf()	<0	
fputc()、putc()	==EOF	
fwrite()	<nmemb	
fputs()	==EOF	
fgets()	==NULL	停止再次调用该函数，继续下一步
fscanf()	==0 或 ==EOF	
fgetc()、getc()	==EOF	
fread()	<nmemb	
fclose()、fflush()	==EOF	忽略

错误处理流程

- 根据errno，做适当的处理
  - extern int errno;
    - stdio模块中定义的全局变量
    - 它的值说明错误类型
- 用perror告诉用户错误的具体信息，使其可以协助排除错误
  - void perror(const char *string);
    - 向stderr输出string，并在其后附加一个':'，再输出错误对应的文字信息
- if (fp != NULL) fclose(fp);
- 回正常流程
  - 从头再来、转做其它事情或退出程序等

copy.c sorttext.c sortbin.c

流（Stream）

- “子在川上曰：逝者如斯夫”
- 时间、水、过客……
  你或许会记下她的样子，但她将永远不再出现
- 计算机中的流，数据流
  - 也有叫做字节流、比特流的，还有很具体的文件流、网络流、视频流、音频流等
- C语言中的输入与输出都是以流的方式处理的
- 计算机中的输入与输出也几乎都是以流的方式处理

从文件说开去

- open、read、write、close这种模式成为使用数据流的经典模式
  - 比如网络数据流操作就是使用此模式，甚至在一些平台上可以和文件采用完全相同的函数操作
- seek并不是所有的流都支持
  - 网络流就不支持
- 对于不能进行“流控”的流
  - 如果当前数据不立即处理
  - 后来的数据就可能会冲走当前数据
  - 于是当前数据丢失
- 流控成为流处理中的一个专门技术
  - 缓冲、握手协议