准备工作

系统配置

1. 在虚拟机中安装Linux系统，本项目采用`VMware Workstation 16.1.2`和`Ubuntu 18.04`，本机系统为`Win 10`
2. 更新`Ubuntu 18.04`源并安装`open-vm-tools`
    1. 进入`/etc/apt/sources.list`修改为国内镜像源（速度快），全部删除，替换为下述内容，如果更新报错，将`https`换成`http`

        ```
        # 默认注释了源码镜像以提高 apt update 速度，如有需要可自行取消注释
        deb https://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu/ bionic main restricted
        universe multiverse
        # deb-src https://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu/ bionic main
        restricted universe multiverse
        deb https://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu/ bionic-updates main
        restricted universe multiverse
        # deb-src https://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu/ bionic-updates
        main restricted universe multiverse
        deb https://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu/ bionic-backports main
        restricted universe multiverse
        # deb-src https://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu/ bionic-backports
        main restricted universe multiverse
        deb https://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu/ bionic-security main
        restricted universe multiverse
        # deb-src https://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu/ bionic-security
        main restricted universe multiverse

        # 预发布软件源，不建议启用
        # deb https://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu/ bionic-proposed main
        restricted universe multiverse
        # deb-src https://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu/ bionic-proposed
        main restricted universe multiverse
        ```

    2. 更新系统源：

        ```
        # update 是同步 /etc/apt/sources.list 和 /etc/apt/sources.list.d 中列出的源
        的索引，这样才能获取到最新的软件包
        sudo apt update
        # upgrade 是升级已安装的所有软件包(可选)
        # sudo apt upgrade
        ```

    3. 安装`open-vm-tools`：`sudo apt install open-vm-tools`
    4. ~~如果要实现文件夹共享，需要安装`open-vm-tools-dkms`：`sudo apt install open-vm-tools-dkms`~~=>清华源找不到`open-vm-tools-dkms`，不安装不影响
    5. 桌面环境还需要安装`open-vm-tools-desktop`以支持双向拖放文件：`sudo apt install open-vm-tools-desktop`
    6. 重启（使用`VMware`自带重启，使用`reboot`重启可能失败）后成功进行拖拽复制

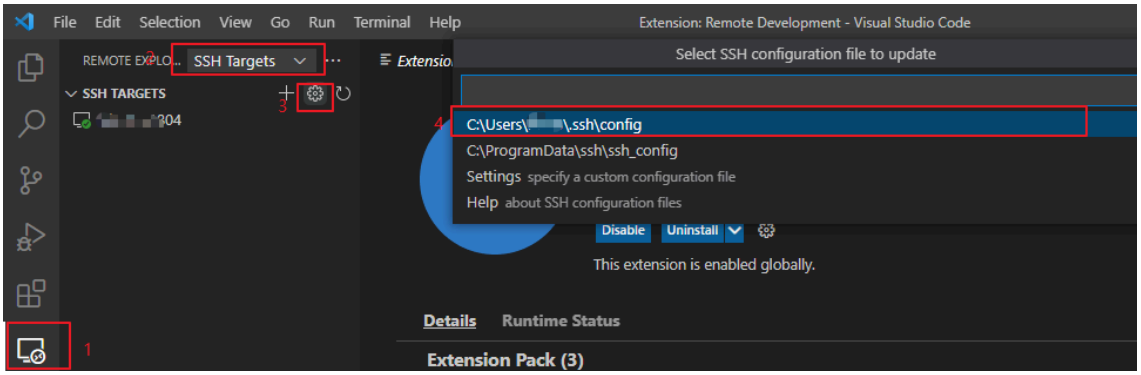
注：参考链接

3. 在`Ubuntu 18.10`安装必要组件

```
# 安装Vim环境
sudo apt install vim

# 用于远程连接虚拟机
sudo apt install openssh-server

# 用于查看IP地址
sudo apt install net-tools

# 树形查看文件夹内容
sudo apt install tree
```

VS code

1. 安装`Remote Development`插件
2. 在Linux中使用`ifconfig`查看`ip地址`
3. 按下图步骤设置`config`文件



4. `config`内容如下

```
# Read more about SSH config files: https://linux.die.net/man/5/ssh_config
Host 自定义名称
    HostName 远程服务器IP
    User 远程服务器用户名
```

GCC

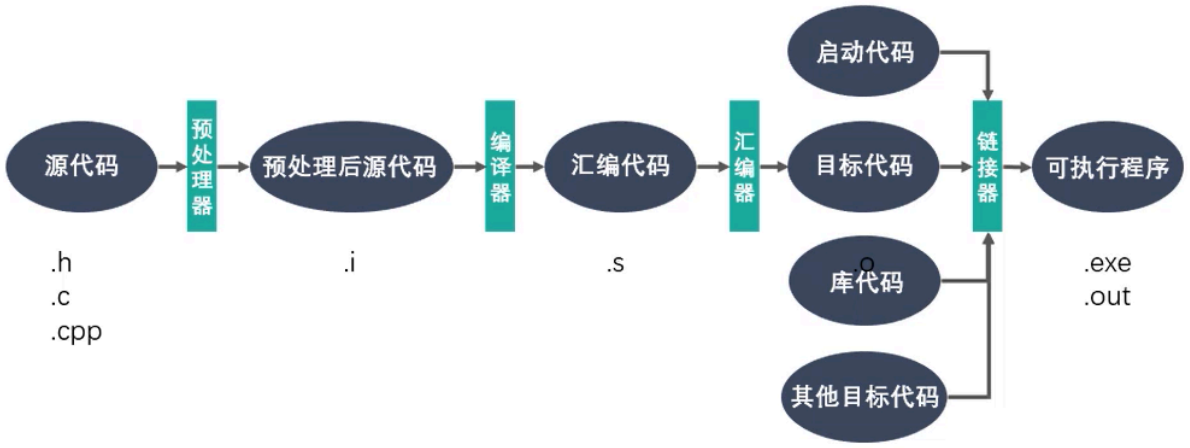
说明

本部分笔记及源码出自`slide/01Linux系统编程入门/01 GCC`

安装`gcc`

命令：`sudo apt install gcc g++`，本项目安装版本为：`7.5.0`

gcc工作流程



gcc常用参数选项

gcc编译选项	说明
-E	预处理指定的源文件，不进行编译
-S	编译指定的源文件，但是不进行汇编
-c	编译、汇编指定的源文件，但是不进行链接
-o [file1] [file2] / [file2] -o [file1]	将文件 file2 编译成可执行文件 file1
-I directory	指定 include 包含文件的搜索目录
-g	在编译的时候，生成调试信息，该程序可以被调试器调试
-D	在程序编译的时候，指定一个宏
-w	不生成任何警告信息

gcc编译选项	说明
-Wall	生成所有警告信息
-On	n的取值范围：0~3。编译器的优化选项的4个级别，-O0表示没有优化，-O1为缺省值，-O3优化级别最高
-l	在程序编译的时候，指定使用的库
-L	指定编译的时候，搜索的库的路径。
-fPIC/fpic	生成与位置无关的代码
-shared	生成共享目标文件，通常用在建立共享库时
-std	指定C方言，如:-std=c99，gcc默认的方言是GNU C

- `-D` 实例
  - 源程序

```c
#include<stdio.h>

int main()
{
#if DEBUG
    printf("Debug\n");
#endif
    printf("hello, world\n");
    return 0;
}
```

- 编译命令1：

```
gcc test.c -o test
./test

# 输出
hello, world
```

- 编译命令2：

```
gcc test.c -o test -D DEBUG
./test

# 输出
Debug
hello, world
```

gcc与g++区别

- `gcc` 和 `g++` 都是`GNU(组织)`的一个编译器
- **误区一**：`gcc` 只能编译 c 代码，g++ 只能编译 c++ 代码
  - 后缀为`.c`的，`gcc` 把它当作是 C 程序，而 `g++` 当作是 `c++` 程序
  - 后缀为 `.cpp` 的，两者都会认为是 `C++` 程序，`C++` 的语法规则更加严谨一些
  - 编译阶段，`g++` 会调用 `gcc`，对于 `C++` 代码，两者是等价的，但是因为 `gcc` 命令不能自动和 `C++` 程序使用的库联接，所以通常用 `g++` 来完成链接，为了统一起见，干脆编译/链接统统用 `g++` 了，这就给人一种错觉，好像 `cpp` 程序只能用 `g++` 似的
- **误区二**：`gcc` 不会定义 `__cplusplus` 宏，而 `g++` 会
  - 实际上，这个宏只是标志着编译器将会把代码按 C 还是 C++ 语法来解释
  - 如上所述，如果后缀为`.c`，并且采用 `gcc` 编译器，则该宏就是未定义的，否则，就是已定义
- **误区三**：编译只能用 `gcc`，链接只能用 `g++`
  - 严格来说，这句话不算错误，但是它混淆了概念，应该这样说：编译可以用 `gcc/g++`，而链接可以用 `g++` 或者 `gcc -lstdc++`
  - `gcc` 命令不能自动和C++程序使用的库联接，所以通常使用 `g++` 来完成链接。但在编译阶段，`g++` 会自动调用 `gcc`，二者等价

Linux系统编程基础知识

静态库与动态库

说明

本部分笔记及源码出自`slide/01Linux系统编程入门/02 静态库与动态库`

库

- 库文件是计算机上的一类文件，可以简单的把库文件看成一种代码仓库，它提供给使用者一些**可以直接拿来用的变量、函数或类**
- 库是特殊的一种程序，编写库的程序和编写一般的程序区别不大，只是**库不能单独运行**
- 库文件有两种，`静态库`和`动态库（共享库）`。区别是：
  - **静态库**在程序的链接阶段被复制到了程序中
  - **动态库**在链接阶段没有被复制到程序中，而是程序在运行时由系统动态加载到内存中供程序调用
- 库的好处：**代码保密** 和**方便部署和分发**

静态库的制作

- 规则

■ 命名规则：
  ◆ Linux ： **libxxx.a**
    lib ： 前缀（固定）
    xxx ： 库的名字，自己起
    .a ： 后缀（固定）
  ◆ Windows ： **libxxx.lib**

■ 静态库的制作：
  ◆ gcc 获得 .o 文件
  ◆ 将 .o 文件打包，使用 ar 工具（archive）
    ar rcs libxxx.a xxx.o xxx.o
      r - 将文件插入备存文件中
      c - 建立备存文件
      s - 索引

- 示例：有如下图所示文件(其中每个分文件用于实现四则运算)，将其打包为**静态库**

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ ls
add.c  div.c  head.h  main.c  mult.c  sub.c
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$
```

1. 生成`.o`文件：`gcc -c 文件名`

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ gcc -c add.c div.c mult.c sub.c
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ ls
add.c  add.o  div.c  div.o  head.h  main.c  mult.c  mult.o  sub.c  sub.o
```

2. 将`.o`文件打包：`ar rcs libxxx.a xx1.o xx2.o`

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ ar rcs libcalc.a add.o sub.o mult.o div.o
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ ls
add.c  add.o  div.c  div.o  head.h  libcalc.a  main.c  mult.c  mult.o  sub.c  sub.o
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$
```

静态库的使用

- 需要提供**静态库文件和相应的头文件**，有如下结构文件，其中`main.c`测试文件

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ tree
.
├── include
│   └── head.h
├── lib
│   └── libcalc.a
└── main.c

2 directories, 3 files
```

```c
// main.c
#include <stdio.h>
#include "head.h"

int main()
{
    int a = 20;
    int b = 12;
    printf("a = %d, b = %d\n", a, b);
    printf("a + b = %d\n", add(a, b));
    printf("a - b = %d\n", subtract(a, b));
    printf("a * b = %d\n", multiply(a, b));
    printf("a / b = %f\n", divide(a, b));
    return 0;
}
```

- 编译运行：`gcc main.c -o app -I ./include -l calc -L ./lib`
  - `-I ./include`：指定头文件目录，如果不指定，出现以下错误

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ gcc main.c -o app
main.c:2:10: fatal error: head.h: No such file or directory
 #include "head.h"
          ^~~~~~~~~
compilation terminated.
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$
```

  - `-l calc`：指定静态库名称，如果不指定，出现以下错误

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ gcc main.c -o app -I ./include
/tmp/ccZA8FBw.o: In function `main':
main.c:(.text+0x3a): undefined reference to `add'
main.c:(.text+0x5c): undefined reference to `subtract'
main.c:(.text+0x7e): undefined reference to `multiply'
main.c:(.text+0xa0): undefined reference to `divide'
collect2: error: ld returned 1 exit status
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$
```

  - `-L ./lib`：指定静态库位置，如果不指定，出现以下错误

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ gcc main.c -o app -I ./include -l calc
/usr/bin/ld: cannot find -lcalc
collect2: error: ld returned 1 exit status
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$
```

  - **正确执行**（成功生成`app`可执行文件）

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ gcc main.c -o app -I ./include -l calc -L ./lib
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ tree
.
├── app
├── include
│   └── head.h
├── lib
│   └── libcalc.a
└── main.c

2 directories, 4 files
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$
```

- 测试程序

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ ./app
a = 20, b = 12
a + b = 32
a - b = 8
a * b = 240
a / b = 1.666667
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$
```

动态库的制作

- 规则

■ 命名规则：

◆ Linux ： **libxxx.so**

lib ： 前缀（固定）

xxx ： 库的名字，自己起

.so ： 后缀（固定）

在Linux下是一个可执行文件

◆ Windows ： **libxxx.dll**

■ 动态库的制作：

◆ gcc 得到 .o 文件，得到和位置无关的代码

gcc -c -fpic/-fPIC a.c b.c

◆ gcc 得到动态库

gcc -shared a.o b.o -o libcalc.so

- 示例：有如下图所示文件(其中每个分文件用于实现四则运算)，将其打包为**动态库**

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ ls
add.c  div.c  head.h  main.c  mult.c  sub.c
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$
```

1. 生成`.o`文件：`gcc -c -fpic 文件名`

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ gcc -c -fpic add.c sub.c mult.c div.c
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ ls
add.c  add.o  div.c  div.o  head.h  main.c  mult.c  mult.o  sub.c  sub.o
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$
```

2. 将`.o`文件打包：`gcc -shared xx1.o xx2.o -o libxxx.so`

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ gcc -shared add.o sub.o mult.o div.o -o libcalc.so
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ ls
add.c  add.o  div.c  div.o  head.h  libcalc.so  main.c  mult.c  mult.o  sub.c  sub.o
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$
```

动态库的使用

- 需要提供**动态库文件和相应的头文件**
- 定位动态库（**原因见工作原理->如何定位共享库文件**，其中路径为动态库所在位置）
  - 方法一：修改环境变量，**当前终端生效**，退出当前终端失效

    ```
    export LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY_PATH:/home/u/Desktop/Linux/calc/lib
    ```

  - 方法二：修改环境变量，用户级别永久配置

    ```
    # 修改~/.bashrc
    vim ~/.bashrc

    # 在~/.bashrc中添加下行，保存退出
    export LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY_PATH:/home/u/Desktop/Linux/calc/lib

    # 使修改生效
    source ~/.bashrc
    ```

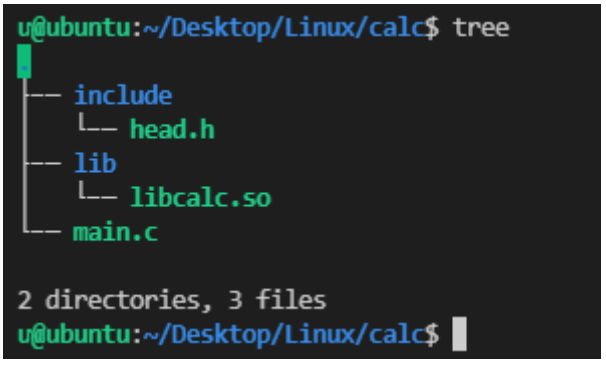
  - 方法三：修改环境变量，系统级别永久配置

    ```
    # 修改/etc/profile
    sudo vim /etc/profile

    # 在~/.bashrc中添加下行，保存退出
    export LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY_PATH:/home/u/Desktop/Linux/calc/lib

    # 使修改生效
    source /etc/profile
    ```

  - 方法四：修改`/etc/ld.so.cache`文件列表

    ```
    # 修改/etc/ld.so.conf
    sudo vim /etc/ld.so.conf

    # 在/etc/ld.so.conf中添加下行，保存退出
    /home/u/Desktop/Linux/calc/lib

    # 更新配置
    sudo ldconfig
    ```

- 有如下结构文件，其中`main.c`测试文件



- 编译运行：`gcc main.c -o app -I ./include -l calc -L ./lib`

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ gcc main.c -o app -I ./include -l calc -L ./lib
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ tree
.
├── app
├── include
│   └── head.h
├── lib
│   └── libcalc.so
└── main.c

2 directories, 4 files
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$
```

- 测试程序

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ ./app
a = 20, b = 12
a + b = 32
a - b = 8
a * b = 240
a / b = 1.666667
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$
```

- 如果不将动态库文件绝对路径加入环境变量，则会出现以下错误

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ gcc main.c -o app -I ./include -l calc -L ./lib
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ tree
.
├── app
├── include
│   └── head.h
├── lib
│   └── libcalc.so
└── main.c

2 directories, 4 files
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ ./app
./app: error while loading shared libraries: libcalc.so: cannot open shared object file: No such file or directory
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$
```

工作原理

- 静态库：`GCC` 进行链接时，会把静态库中代码打包到可执行程序中
- 动态库：`GCC` 进行链接时，动态库的代码不会被打包到可执行程序中
- 程序启动之后，动态库会被动态加载到内存中，通过 `ldd （list dynamic dependencies）` 命令检查动态库依赖关系

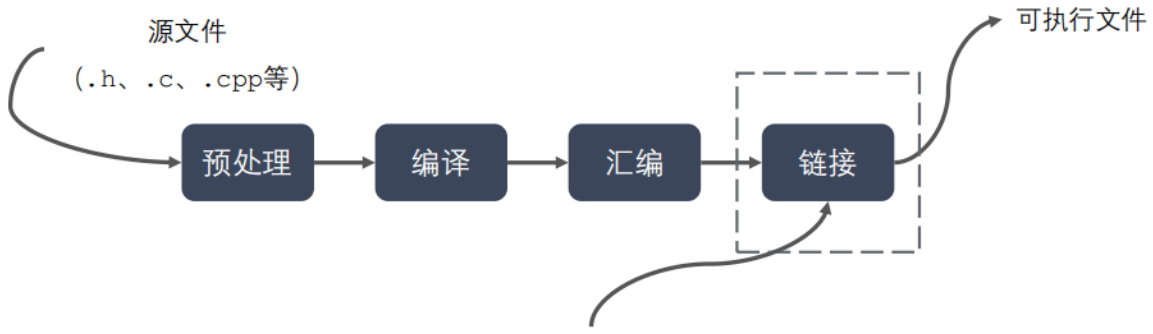
```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ ls
app  include  lib  main.c
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$ ldd app
        linux-vdso.so.1 (0x00007fff802fe000)
        libcalc.so => not found
        libc.so.6 => /lib/x86_64-linux-gnu/libc.so.6 (0x00007fa82486d000)
        /lib64/ld-linux-x86-64.so.2 (0x00007fa824e60000)
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/calc$
```

- 如何定位共享库文件呢?
    - 当系统加载可执行代码时候，能够知道其所依赖的库的名字，但是还需要知道**绝对路径**。此时就需要系统的动态载入器来获取该绝对路径

- 对于`elf格式`的可执行程序，是由`ld-linux.so`来完成的，它先后搜索`elf文件`的`DT_RPATH`段 => `环境变量LD_LIBRARY_PATH` => `/etc/ld.so.cache文件列表` => `/lib/`，`usr/lib`目录找到库文件后将其载入内存

静态库和动态库的对比

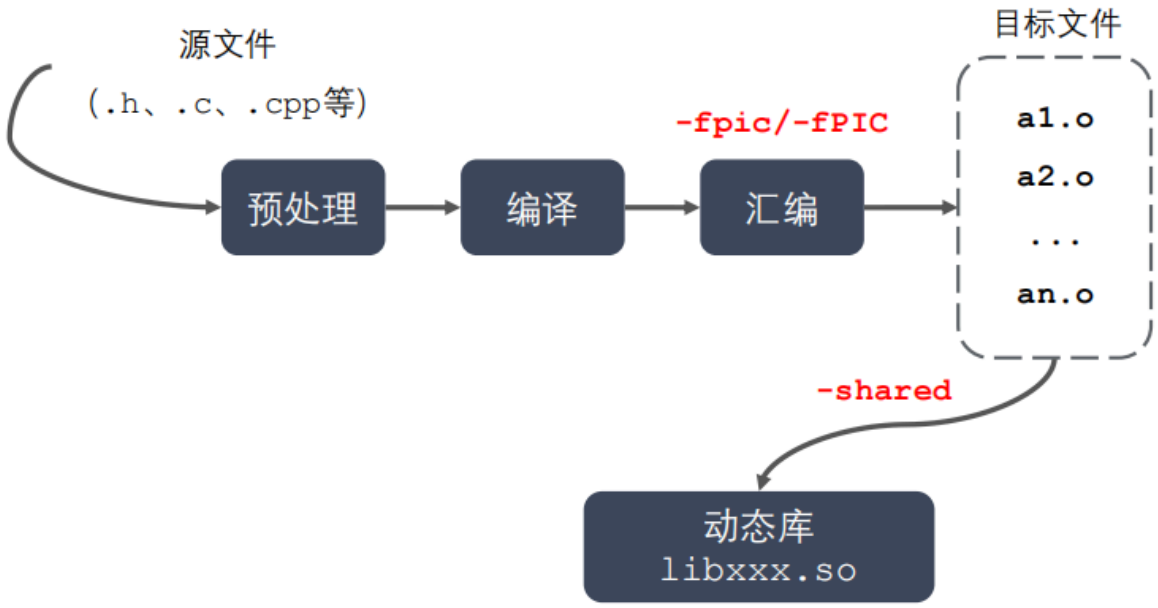
程序编译成可执行程序的过程



静态库、动态库区别来自链接阶段如何处理，链接成可执行程序。分别称为静态链接方式和动态链接方式。

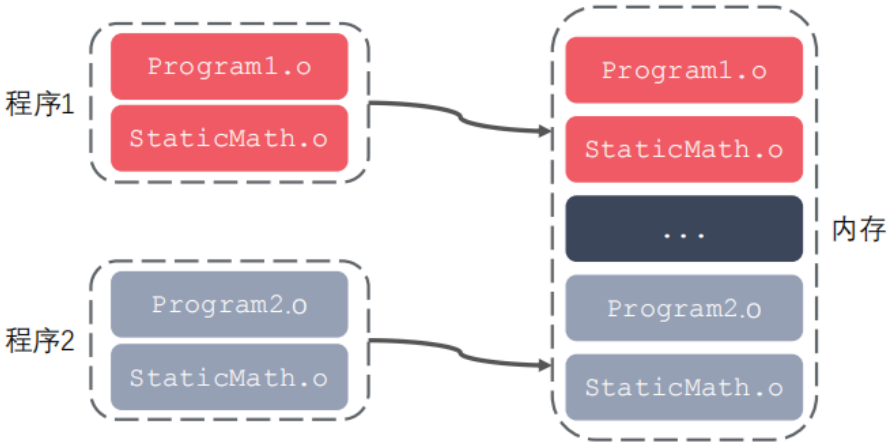
静态库制作过程

动态库制作过程



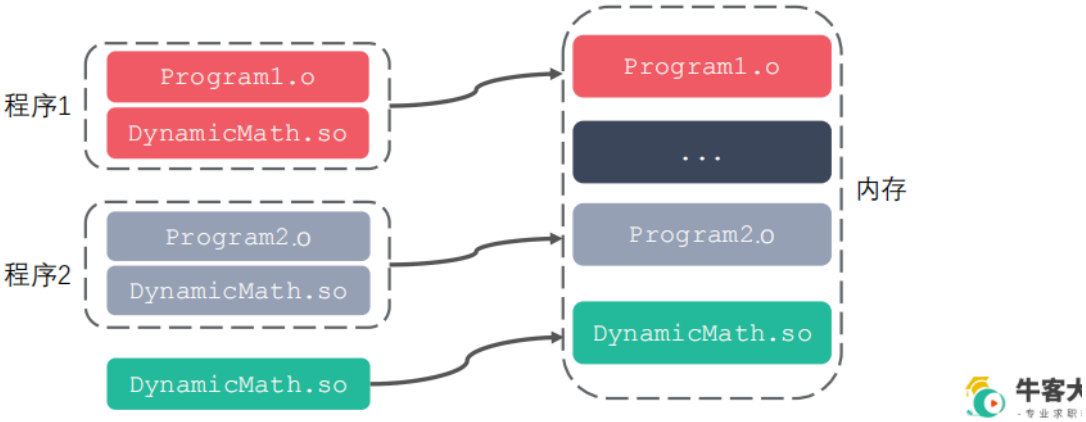
静态库的优缺点

- 优点：
  - 静态库被打包到应用程序中加载速度快
  - 发布程序无需提供静态库，移植方便
- 缺点：
  - 消耗系统资源，浪费内存
  - 更新、部署、发布麻烦



动态库的优缺点

- 优点：
  - 可以实现进程间资源共享（共享库）
  - 更新、部署、发布简单
  - 可以控制何时加载动态库
- 缺点：
  - 加载速度比静态库慢
  - 发布程序时需要提供依赖的动态库



Makefile

说明

本部分笔记及源码出自`slide/01Linux系统编程入门/03 Makefile`

概念及安装

- 一个工程中的源文件不计其数，其按类型、功能、模块分别放在若干个目录中，`Makefile` 文件定义了一系列的规则来指定哪些文件需要先编译，哪些文件需要后编译，哪些文件需要重新编译，甚至于进行更复杂的功能操作，因为 `Makefile` 文件就像一个 `Shell` 脚本一样，也可以执行操作系统的命令
- `Makefile` 带来的好处就是“自动化编译”，一旦写好，只需要一个 `make` 命令，整个工程完全自动编译，极大的提高了软件开发的效率。
- `make` 是一个命令工具，是一个解释 `Makefile` 文件中指令的命令工具，一般来说，大多数的 `IDE` 都有这个命令，比如 Delphi 的 `make`，Visual C++ 的 `nmake`，Linux 下 GNU 的 `make`
- 安装：`sudo apt install make`，安装时会安装`man 手册`

Makefile 文件命名和规则

- 文件命名：`makefile` 或者 `Makefile`
- `Makefile` 规则
  - 一个 `Makefile` 文件中可以有一个或者多个规则

```
目标 ...: 依赖 ...
        命令（Shell 命令）
        ...
```

- **目标**：最终要生成的文件（伪目标除外）

    - **依赖**：生成目标所需要的文件或是目标
    - **命令**：通过执行命令对依赖操作生成目标（命令前必须 Tab 缩进）
  - `Makefile` 中的其它规则一般都是为第一条规则服务的。

Makefile编写方式

说明

假设有如下文件

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ ls
add.c  div.c  head.h  main.c  mult.c  sub.c
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$
```

方式一：Makefile+直接编译链接（不推荐）

```
app:add.c div.c multi.c sub.c main.c
    gcc add.c div.c multi.c sub.c main.c -o app
```

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ ls
add.c  div.c  head.h  main.c  Makefile  multi.c  sub.c
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ make
gcc add.c div.c multi.c sub.c main.c -o app
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ ./app
a = 20, b = 12
a + b = 32
a - b = 8
a * b = 240
a / b = 1.666667
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$
```

方式二：Makefile+编译+链接

```
app:add.o div.o multi.o sub.o main.o
    gcc add.o div.o multi.o sub.o main.o -o app

add.o:add.c
    gcc -c add.c -o add.o

div.o:div.c
    gcc -c div.c -o div.o

multi.o:multi.c
    gcc -c multi.c -o multi.o

sub.o:sub.c
    gcc -c sub.c -o sub.o

main.o:main.c
    gcc -c main.c -o main.o
```

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ ls
add.c  div.c  head.h  main.c  Makefile  multi.c  sub.c
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ make
gcc -c add.c
gcc -c div.c
gcc -c multi.c
gcc -c sub.c
gcc -c main.c
gcc add.o div.o multi.o sub.o main.o -o app
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ ./app
a = 20, b = 12
a + b = 32
a - b = 8
a * b = 240
a / b = 1.666667
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$
```

方式三：Makefile+变量

知识点

- 自定义变量：`变量名=变量值`，如`var=hello`
- 预定义变量
  - `AR`：归档维护程序的名称，默认值为 ar
  - `CC`：C 编译器的名称，默认值为 cc
  - `CXX`：C++ 编译器的名称，默认值为 g++
  - `$@`：目标的完整名称
  - `$<`：第一个依赖文件的名称
  - `$^`：所有的依赖文件
  - 示例

```
app:main.c a.c b.c
    gcc -c main.c a.c b.c

#自动变量只能在规则的命令中使用
app:main.c a.c b.c
    $(CC) -c $^ -o $@
```

- 获取变量的值：`$(变量名)`，如`$(var)`

示例

```
src=add.o div.o multi.o sub.o main.o
target=app
$(target):$(src)
    $(CC) $^ -o $@
```

```
add.o:add.c
    $(CC) -c $^ -o $@

div.o:div.c
    $(CC) -c $^ -o $@

multi.o:multi.c
    $(CC) -c $^ -o $@

sub.o:sub.c
    $(CC) -c $^ -o $@

main.o:main.c
    $(CC) -c $^ -o $@
```

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ ls
add.c  div.c  head.h  main.c  Makefile  multi.c  sub.c
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ make
cc -c add.c -o add.o
cc -c div.c -o div.o
cc -c multi.c -o multi.o
cc -c sub.c -o sub.o
cc -c main.c -o main.o
cc add.o div.o multi.o sub.o main.o -o app
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ ./app
a = 20, b = 12
a + b = 32
a - b = 8
a * b = 240
a / b = 1.666667
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$
```

方式四：Makefile+模式匹配

知识点

当所要编译的文件过多时，使用模式匹配能够简化操作

```
add.o:add.c
    gcc -c add.c
div.o:div.c
    gcc -c div.c
sub.o:sub.c
    gcc -c sub.c
mult.o:mult.c
    gcc -c mult.c
main.o:main.c
    gcc -c main.c
```

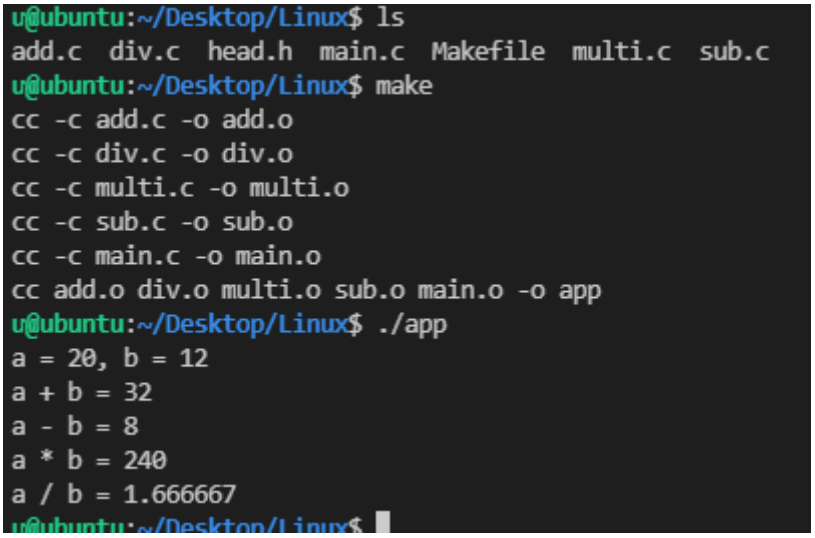
```
%.o:%.c
```

- %：通配符，匹配一个字符串
- 两个%匹配的是同一个字符串

```
%.o:%.c
    gcc -c $< -o $@
```

示例

```
src=add.o div.o multi.o sub.o main.o
target=app
$(target):$(src)
    $(CC) $^ -o $@

%.o:%.c
    $(CC) -c $< -o $@
```



方法五：Makefile + 函数

知识点

- `$(wildcard PATTERN...)`
  - 功能：获取指定目录下指定类型的文件列表
  - 参数：PATTERN 指的是某个或多个目录下的对应的某种类型的文件，如果有多个目录，一般使用空格间隔
  - 返回：得到的若干个文件的文件列表，文件名之间使用空格间隔
  - 示例

    $(wildcard *.c ./sub/*.c)

    返回值格式：a.c b.c c.c d.c e.c f.c
- `$(patsubst <pattern>,<replacement>,<text>)`
  - 功能：查找`<text>`中的单词(单词以“空格”、“Tab”或“回车”“换行”分隔)是否符合模式`<pattern>`，如果匹配的话，则以`<replacement>`替换
  - `<pattern>`可以包括通配符`%`，表示任意长度的字串。如果`<replacement>`中也包含`%`，那么，`<replacement>`中的这个`%`将是`<pattern>`中的那个%所代表的字串。(可以用`\`来转义，以`\%`来表示真实含义的`%`字符)
  - 返回：函数返回被替换过后的字符串
  - 示例

$(patsubst %.c, %.o, x.c bar.c)

返回值格式: x.o bar.o

示例

```
src=$(wildcard ./*.c)
objs=$(patsubst %.c, %.o, $(src))
target=app
$(target):$(objs)
    $(CC) $^ -o $@

%.o:%.c
    $(CC) -c $< -o $@
```

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ ls
add.c  div.c  head.h  main.c  Makefile  multi.c  sub.c
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ make
cc -c multi.c -o multi.o
cc -c main.c -o main.o
cc -c add.c -o add.o
cc -c div.c -o div.o
cc -c sub.c -o sub.o
cc multi.o main.o add.o div.o sub.o -o app
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ ./app
a = 20, b = 12
a + b = 32
a - b = 8
a * b = 240
a / b = 1.666667
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$
```

清除中间文件

```
src=$(wildcard ./*.c)
objs=$(patsubst %.c, %.o, $(src))
target=app
$(target):$(objs)
    $(CC) $^ -o $@

%.o:%.c
    $(CC) -c $< -o $@

clean:
    rm *.o
```

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ ls
add.c  div.c  head.h  main.c  Makefile  multi.c  sub.c
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ make
cc -c multi.c -o multi.o
cc -c main.c -o main.o
cc -c add.c -o add.o
cc -c div.c -o div.o
cc -c sub.c -o sub.o
cc multi.o main.o add.o div.o sub.o -o app
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ ls
add.c  add.o  app  div.c  div.o  head.h  main.c  main.o  Makefile  multi.c  multi.o  sub.c  sub.o
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ make clean
rm *.o
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ ls
add.c  app  div.c  head.h  main.c  Makefile  multi.c  sub.c
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$
```

工作原理

- 命令在执行之前，需要先检查规则中的依赖是否存在
  - 如果存在，执行命令
  - 如果不存在，向下检查其它的规则，检查有没有一个规则是用来生成这个依赖的，如果找到了，则执行该规则中的命令
- 检测更新，在执行规则中的命令时，会比较目标和依赖文件的时间
  - 如果依赖的时间比目标的时间晚，需要重新生成目标
  - 如果依赖的时间比目标的时间早，目标不需要更新，对应规则中的命令不需要被执行
- 示例
  - 当修改`main.c`且重新`make`时，如下

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ make
cc -c main.c -o main.o
cc add.o multi.o main.o div.o sub.o -o app
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$
```

  - 当不做任何修改且重新`make`时，如下

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ make
make: 'app' is up to date.
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$
```

GDB调试

说明

本部分笔记及源码出自`slide/01Linux系统编程入门/04 GDB调试`

概念

- `GDB`是由 GNU 软件系统社区提供的调试工具，同`GCC`配套组成了一套完整的开发环境，`GDB`是 Linux 和许多类 Unix 系统中的标准开发环境
- 一般来说，`GDB`主要帮助你完成下面四个方面的功能
  - 启动程序，可以按照自定义的要求随心所欲的运行程序
  - 可让被调试的程序在所指定的调置的断点处停住（断点可以是条件表达式）
  - 当程序被停住时，可以检查此时程序中所发生的事
  - 可以改变程序，将一个 BUG 产生的影响修正从而测试其他 BUG

准备工作

- 使用以下命令编译：`gcc -g -Wall program.c -o program`
  - 通常，在为调试而编译时，我们会**关掉编译器的优化选项**（`-O`），并打开**调试选项**（`-g`）。另外，`-Wall` 在尽量不影响程序行为的情况下选项打开所有warning，也可以发现许多问题，避免一些不必要的 BUG
  - `-g` 选项的作用是在可执行文件中加入源代码的信息，比如可执行文件中第几条机器指令对应源代码的第几行，但并不是把整个源文件嵌入到可执行文件中，所以在调试时必须保证 `gdb` 能找到源文件
- 注：当在 `gdb` 中直接使用 `回车` 时，会默认执行上一条命令

常用命令

说明

- `启动与退出` 至 `查看当前文件代码` 使用 `test.c`
- 后续内容使用课件中其他源程序

启动与退出

- 启动：`gdb 可执行程序`
- 退出：`quit/q`

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/test$ ls
bubble.cpp  main.cpp  select.cpp  sort.h  test.c
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/test$ gcc test.c -o test -g
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/test$ ls
bubble.cpp  main.cpp  select.cpp  sort.h  test  test.c
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/test$ gdb test
GNU gdb (Ubuntu 8.1-0ubuntu3.2) 8.1.0.20180409-git
Copyright (C) 2018 Free Software Foundation, Inc.
License GPLv3+: GNU GPL version 3 or later <http://gnu.org/licenses/gpl.html>
This is free software: you are free to change and redistribute it.
There is NO WARRANTY, to the extent permitted by law.  Type "show copying"
and "show warranty" for details.
This GDB was configured as "x86_64-linux-gnu".
Type "show configuration" for configuration details.
For bug reporting instructions, please see:
<http://www.gnu.org/software/gdb/bugs/>.
Find the GDB manual and other documentation resources online at:
<http://www.gnu.org/software/gdb/documentation/>.
For help, type "help".
Type "apropos word" to search for commands related to "word"...
Reading symbols from test...done.
(gdb) q
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/test$
```

给程序设置参数/获取设置参数

- 设置参数：`set args 10 20`
- 获取设置参数：`show args`

```
// test.c 源码
#include <stdio.h>
```

```c
#include <stdlib.h>

int test(int a);

int main(int argc, char* argv[]) {
    int a, b;
    printf("argc = %d\n", argc);

    if(argc < 3) {
        a = 10;
        b = 30;
    } else {
        a = atoi(argv[1]);
        b = atoi(argv[2]);
    }
    printf("a = %d, b = %d\n", a, b);
    printf("a + b = %d\n", a + b);

    for(int i = 0; i < a; ++i) {
        printf("i = %d\n", i);
        // 函数调用
        int res = test(i);
        printf("res value: %d\n", res);
    }

    printf("THE END !!!\n");
    return 0;
}

int test(int a) {
    int num = 0;
    for(int i = 0; i < a; ++i) {
        num += i;
    }
    return num;
}
```

```
(gdb) set args 10 20
(gdb) show args
Argument list to give program being debugged when it is started is "10 20".
(gdb)
```

GDB使用帮助

- `help`

```
(gdb) help
List of classes of commands:

aliases -- Aliases of other commands
breakpoints -- Making program stop at certain points
data -- Examining data
files -- Specifying and examining files
internals -- Maintenance commands
obscure -- Obscure features
running -- Running the program
stack -- Examining the stack
status -- Status inquiries
support -- Support facilities
tracepoints -- Tracing of program execution without stopping the program
user-defined -- User-defined commands

Type "help" followed by a class name for a list of commands in that class.
Type "help all" for the list of all commands.
Type "help" followed by command name for full documentation.
Type "apropos word" to search for commands related to "word".
Command name abbreviations are allowed if unambiguous.
(gdb)
```

查看当前文件代码

- 从默认位置显示：`list/l`

```
(gdb) l
1       #include <stdio.h>
2       #include <stdlib.h>
3
4       int test(int a);
5
6       int main(int argc, char* argv[]) {
7           int a, b;
8           printf("argc = %d\n", argc);
9
10          if(argc < 3) {
(gdb)
11              a = 10;
12              b = 30;
13          } else {
14              a = atoi(argv[1]);
15              b = atoi(argv[2]);
16          }
17          printf("a = %d, b = %d\n", a, b);
18          printf("a + b = %d\n", a + b);
19
20          for(int i = 0; i < a; ++i) {
(gdb)
```

- 从指定的行显示：`list/l 行号`

```
(gdb) list 10
5
6       int main(int argc, char* argv[]) {
7           int a, b;
8           printf("argc = %d\n", argc);
9
10          if(argc < 3) {
11              a = 10;
12              b = 30;
13          } else {
14              a = atoi(argv[1]);
(gdb)
```

- 从指定的函数显示：`list/l 行号`

```
(gdb) l main
1       #include <stdio.h>
2       #include <stdlib.h>
3
4       int test(int a);
5
6       int main(int argc, char* argv[]) {
7           int a, b;
8           printf("argc = %d\n", argc);
9
10          if(argc < 3) {
(gdb)
```

- 注：**查看时会显示前后文**

查看非当前文件代码

- 编译运行并使用`gdb main`

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/test$ ls
bubble.cpp  main.cpp  select.cpp  sort.h  test  test.c
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/test$ g++ bubble.cpp select.cpp main.cpp -o main -g
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/test$ ls
bubble.cpp  main  main.cpp  select.cpp  sort.h  test  test.c
u@ubuntu:~/Desktop/Linux/test$ gdb main
GNU gdb (Ubuntu 8.1-0ubuntu3.2) 8.1.0.20180409-git
Copyright (C) 2018 Free Software Foundation, Inc.
License GPLv3+: GNU GPL version 3 or later <http://gnu.org/licenses/gpl.html>
This is free software: you are free to change and redistribute it.
There is NO WARRANTY, to the extent permitted by law.  Type "show copying"
and "show warranty" for details.
This GDB was configured as "x86_64-linux-gnu".
Type "show configuration" for configuration details.
For bug reporting instructions, please see:
<http://www.gnu.org/software/gdb/bugs/>.
Find the GDB manual and other documentation resources online at:
<http://www.gnu.org/software/gdb/documentation/>.
For help, type "help".
Type "apropos word" to search for commands related to "word"...
Reading symbols from main...done.
(gdb)
```

- 从指定文件指定的行显示：`list/l 文件名:行号`

```
(gdb) l
1       #include <iostream>
2       #include "sort.h"
3
4       using namespace std;
5
6       int main() {
7
8           int array[] = {12, 27, 55, 22, 67};
9           int len = sizeof(array) / sizeof(int);
10
(gdb) l bubble.cpp:3
1       #include "sort.h"
2       #include <iostream>
3
4       using namespace std;
5
6       void bubbleSort(int *array, int len) {
7
8           for (int i = 0; i < len - 1; i++) {
9                       for (int j = 0; j < len - 1 - i; j++) {
10                              if (array[j] > array[j + 1]) {
(gdb)
```

- 从指定文件指定的函数显示：`list/l 文件名:函数名`

```
(gdb) list select.cpp:selectSort
1       #include "sort.h"
2       #include <iostream>
3
4       using namespace std;
5
6       void selectSort(int *array, int len) {
7
8           for (int j = 0; j < len - 1; j++) {
9                       for (int i = j + 1; i < len; i++) {
10                              if (array[j] > array[i]) {
(gdb)
```

查看及设置显示的行数

- 查看显示的行数：`show list/listsize`
- 设置显示的行数：`set list/listsize`

```
(gdb) show listsize
Number of source lines gdb will list by default is 10.
(gdb) set list 20
(gdb) show listsize
Number of source lines gdb will list by default is 20.
(gdb) l
1       #include <iostream>
2       #include "sort.h"
3
4       using namespace std;
5
6       int main() {
7
8           int array[] = {12, 27, 55, 22, 67};
9           int len = sizeof(array) / sizeof(int);
10
11          bubbleSort(array, len);
12
13          // 遍历
14          cout << "冒泡排序之后的数组: ";
15          for(int i = 0; i < len; i++) {
16              cout << array[i] << " ";
17          }
18          cout << endl;
19          cout << "==================================" << endl;
20
(gdb)
```

断点操作

- 查看断点：`i/info b/break`
- 设置一般断点
  - `b/break 行号`
  - `b/break 函数名`
  - `b/break 文件名:行号`
  - `b/break 文件名:函数`
- 设置条件断点（一般用在循环的位置）：`b/break 10 if i==5`

```
(gdb) info b
No breakpoints or watchpoints.
(gdb) b 3
Breakpoint 1 at 0xc32: file main.cpp, line 3.
(gdb) b bubble.cpp:4
Breakpoint 2 at 0x9b5: file bubble.cpp, line 4.
(gdb) b select.cpp:selectSort
Breakpoint 3 at 0xafd: file select.cpp, line 8.
(gdb) b 16 if i==4
Breakpoint 4 at 0xc9e: file main.cpp, line 16.
(gdb) i b
Num     Type           Disp Enb Address            What
1       breakpoint     keep y   0x0000000000000c32 in main() at main.cpp:3
2       breakpoint     keep y   0x00000000000009b5 in bubbleSort(int*, int) at bubble.cpp:4
3       breakpoint     keep y   0x0000000000000afd in selectSort(int*, int) at select.cpp:8
4       breakpoint     keep y   0x0000000000000c9e in main() at main.cpp:16
        stop only if i==4
(gdb)
```

- 删除断点：`d/del/delete 断点编号`

- 设置断点无效：`dis/disable 断点编号`
- 设置断点生效：`ena/enable 断点编号`

```
(gdb) info b
Num     Type           Disp Enb Address            What
1       breakpoint     keep y   0x0000000000000c32 in main() at main.cpp:3
2       breakpoint     keep y   0x00000000000009b5 in bubbleSort(int*, int) at bubble.cpp:4
3       breakpoint     keep y   0x0000000000000afd in selectSort(int*, int) at select.cpp:8
4       breakpoint     keep y   0x0000000000000c9e in main() at main.cpp:16
        stop only if i==4
(gdb) del 3
(gdb) info b
Num     Type           Disp Enb Address            What
1       breakpoint     keep y   0x0000000000000c32 in main() at main.cpp:3
2       breakpoint     keep y   0x00000000000009b5 in bubbleSort(int*, int) at bubble.cpp:4
4       breakpoint     keep y   0x0000000000000c9e in main() at main.cpp:16
        stop only if i==4
(gdb) dis 1
(gdb) info b
Num     Type           Disp Enb Address            What
1       breakpoint     keep n   0x0000000000000c32 in main() at main.cpp:3
2       breakpoint     keep y   0x00000000000009b5 in bubbleSort(int*, int) at bubble.cpp:4
4       breakpoint     keep y   0x0000000000000c9e in main() at main.cpp:16
        stop only if i==4
(gdb) ena 1
(gdb) info b
Num     Type           Disp Enb Address            What
1       breakpoint     keep y   0x0000000000000c32 in main() at main.cpp:3
2       breakpoint     keep y   0x00000000000009b5 in bubbleSort(int*, int) at bubble.cpp:4
4       breakpoint     keep y   0x0000000000000c9e in main() at main.cpp:16
        stop only if i==4
```

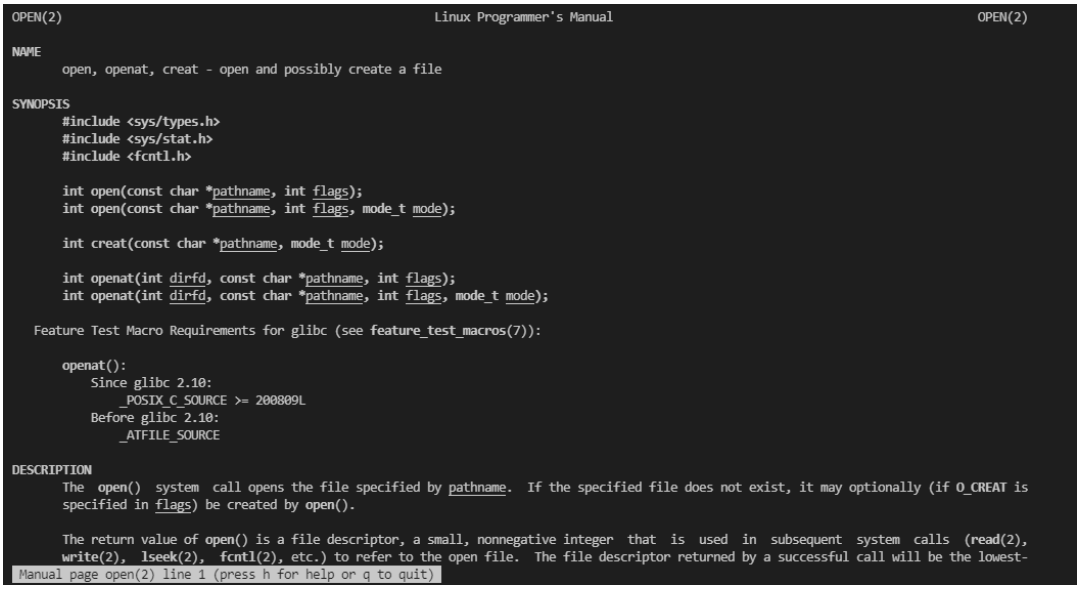
调试操作

- 运行 `GDB` 程序
  - 程序停在第一行：`start`
  - 遇到断点才停：`run`
- 继续运行，到下一个断点停：`c/continue`
- 向下执行一行代码（不会进入函数体）：`n/next`
- 变量操作
  - 打印变量值：`p/print 变量名`
  - 打印变量类型：`ptype 变量名`
- 向下单步调试（遇到函数进入函数体）
  - `s/step`
  - 跳出函数体：`finish`
- 自动变量操作
  - 自动打印指定变量的值：`display 变量名`
  - 查看自动变量：`i/info display`
  - 取消自动变量：`undisplay 编号`
- 其它操作
  - 设置变量值：`set var 变量名=变量值 （循环中用的较多）`
  - 跳出循环：`until`

文件IO

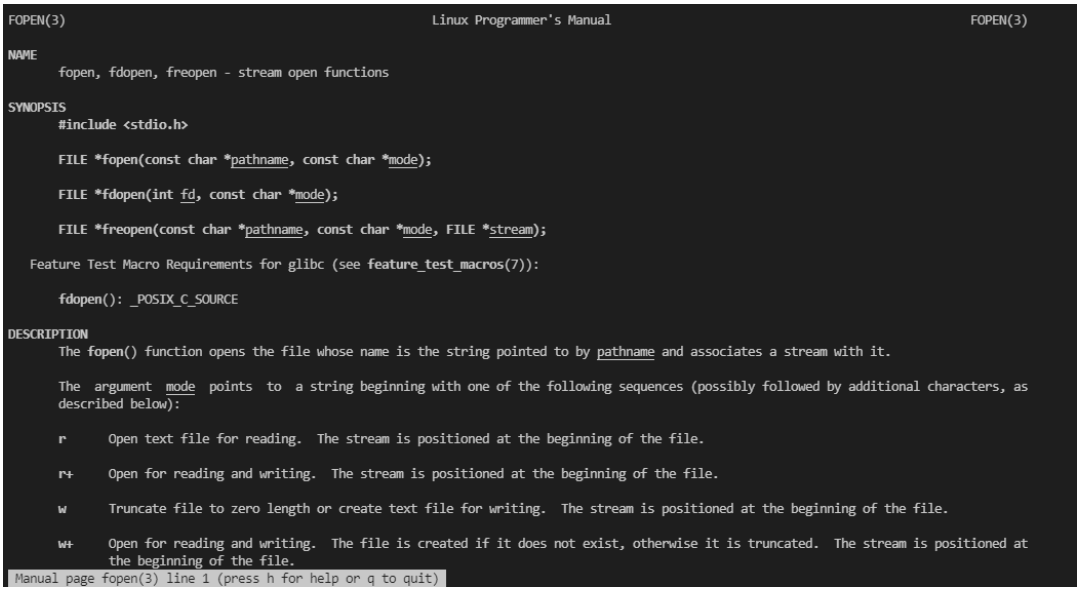
说明

- 本部分笔记及源码出自`slide/01Linux系统编程入门/05 文件IO`
- 在`Linux`中使用`man 2 API名`查看**Linux系统API**，`man 3 API名`查看**标准C库API**
  - `man 2 open`



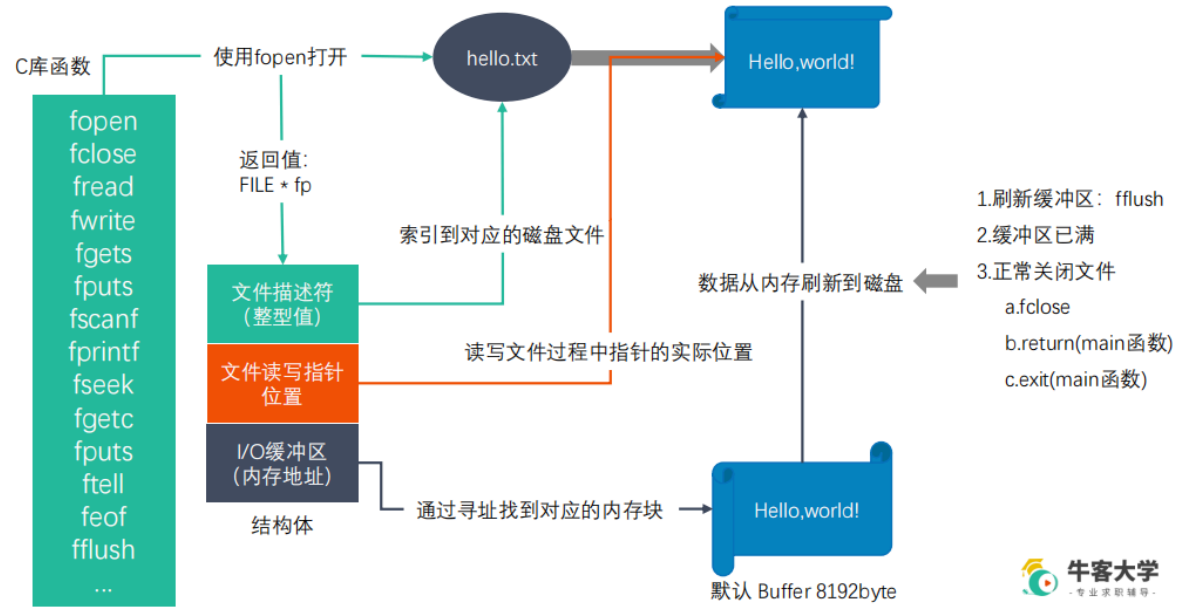
```
OPEN(2)                                Linux Programmer's Manual                                OPEN(2)

NAME
       open, openat, creat - open and possibly create a file

SYNOPSIS
       #include <sys/types.h>
       #include <sys/stat.h>
       #include <fcntl.h>

       int open(const char *pathname, int flags);
       int open(const char *pathname, int flags, mode_t mode);

       int creat(const char *pathname, mode_t mode);

       int openat(int dirfd, const char *pathname, int flags);
       int openat(int dirfd, const char *pathname, int flags, mode_t mode);

   Feature Test Macro Requirements for glibc (see feature_test_macros(7)):

       openat():
           Since glibc 2.10:
               _POSIX_C_SOURCE >= 200809L
           Before glibc 2.10:
               _ATFILE_SOURCE

DESCRIPTION
       The  open()  system  call opens the file specified by pathname.  If the specified file does not exist, it may optionally (if O_CREAT is
       specified in flags) be created by open().

       The return value of open() is a file descriptor, a small, nonnegative integer  that  is  used  in  subsequent  system  calls  (read(2),
       write(2),  lseek(2),  fcntl(2), etc.) to refer to the open file.  The file descriptor returned by a successful call will be the lowest-
 Manual page open(2) line 1 (press h for help or q to quit)
```

  - `man 3 fopen`

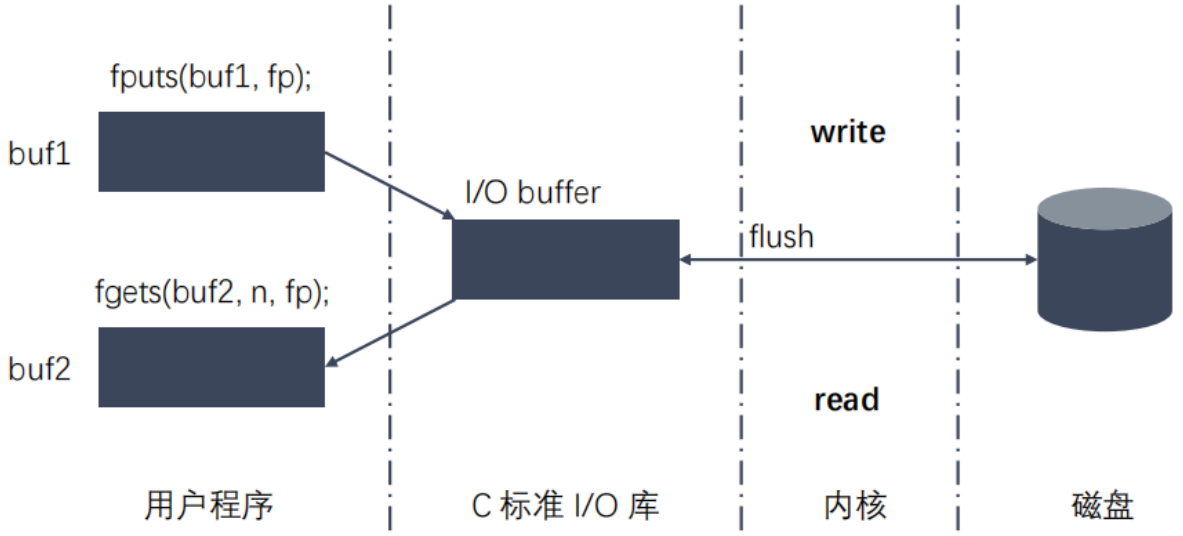


```
FOPEN(3)                               Linux Programmer's Manual                                FOPEN(3)

NAME
       fopen, fdopen, freopen - stream open functions

SYNOPSIS
       #include <stdio.h>

       FILE *fopen(const char *pathname, const char *mode);

       FILE *fdopen(int fd, const char *mode);

       FILE *freopen(const char *pathname, const char *mode, FILE *stream);

   Feature Test Macro Requirements for glibc (see feature_test_macros(7)):

       fdopen(): _POSIX_C_SOURCE

DESCRIPTION
       The fopen() function opens the file whose name is the string pointed to by pathname and associates a stream with it.

       The  argument  mode  points  to  a string beginning with one of the following sequences (possibly followed by additional characters, as
       described below):

       r      Open text file for reading.  The stream is positioned at the beginning of the file.

       r+     Open for reading and writing.  The stream is positioned at the beginning of the file.

       w      Truncate file to zero length or create text file for writing.  The stream is positioned at the beginning of the file.

       w+     Open for reading and writing.  The file is created if it does not exist, otherwise it is truncated.  The stream is positioned at
              the beginning of the file.
 Manual page fopen(3) line 1 (press h for help or q to quit)
```

标准 C 库 IO 函数

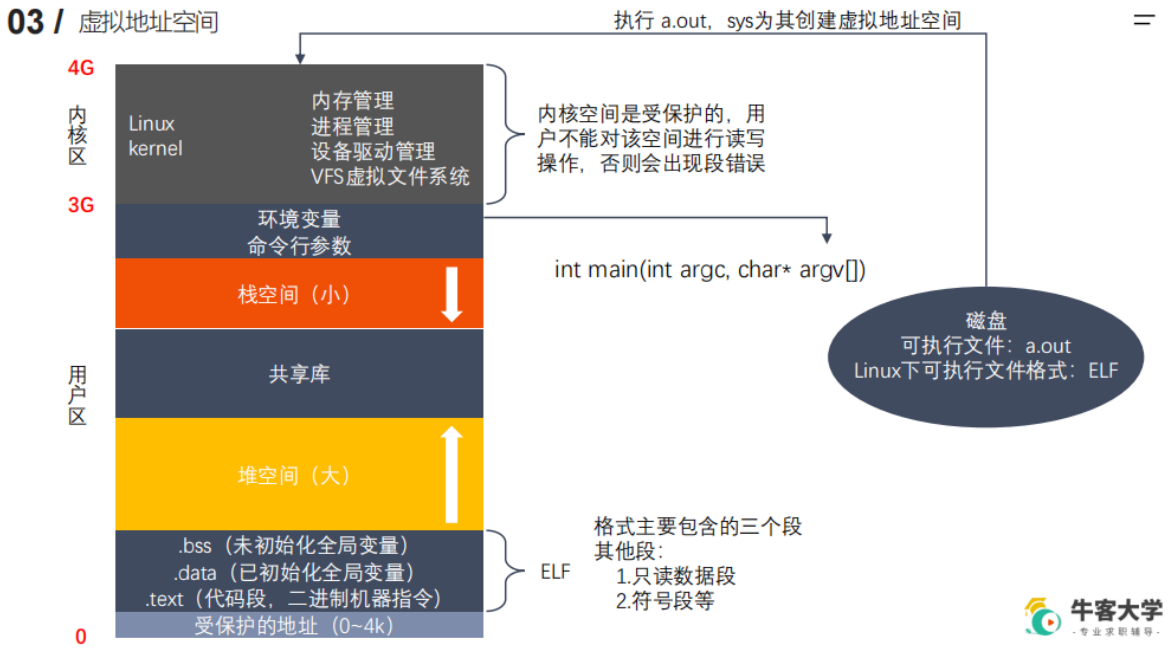


标准 C 库 IO 和 Linux 系统 IO 的关系



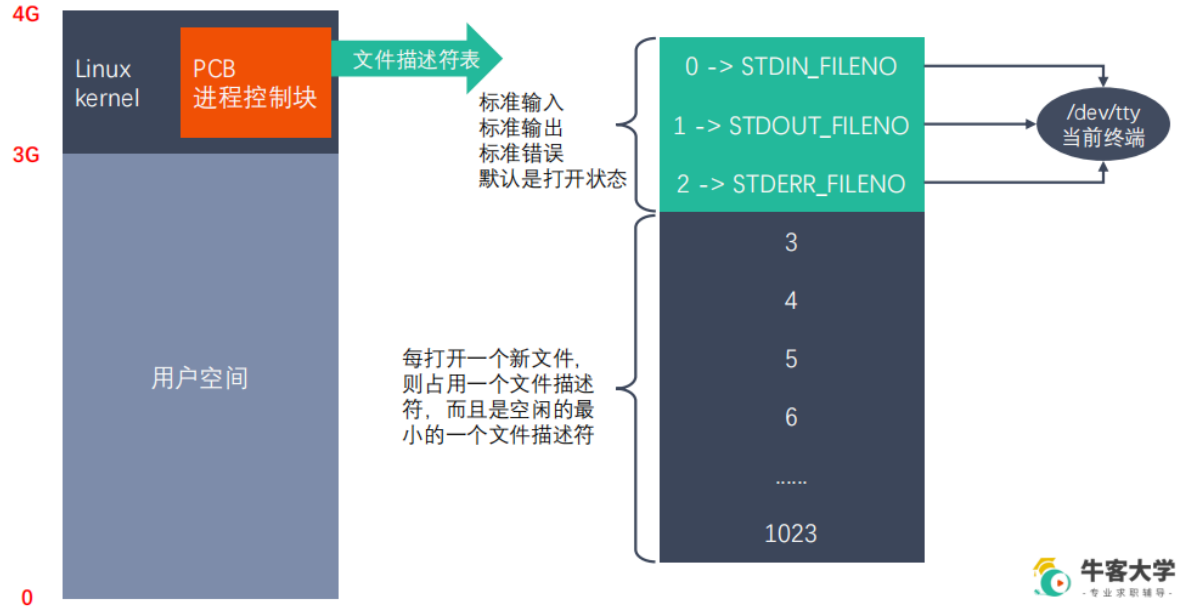
虚拟地址空间

- 虚拟地址空间是为了解决内存加载问题
  - 问题1：假设实际内存为`4G`，此时共有`1G`、`2G`、`2G`三个程序，如果直接加载，那么第三个程序由于内存不足而无法执行
  - 问题2：当问题1的`1G`程序执行完后，释放内存，第三个程序可以执行，但此时内存空间不连续
- 对于32位机器来说，大小约为2^{32}，即`4G`左右，对于64位机器来说，，大小约为2^{48}，即`256T`左右
- 通过`CPU中的MMU(内存管理单元)`将虚拟内存地址映射到物理内存地址上



文件描述符

- 文件描述符表是一个**数组**，为了一个进程能够同时操作多个文件
- 文件描述符表默认大小：1024



Linux 系统 IO 函数

open & close

- `int open(const char *pathname, int flags);`，使用`man 2 open`查看帮助
  - 参数
    - `pathname`：要打开的文件路径
    - `flags`：对文件的操作权限设置还有其他的设置(`O_RDONLY`, `O_WRONLY`, `O_RDWR` 这三个设置是互斥的，代表只读，只写，可读可写)
  - 返回值：返回一个新的文件描述符，如果调用失败，返回-1，并设置`errno`，`errno`属于Linux系统函数库里面的一个全局变量，记录的是最近的错误号

```c
/*
    #include <stdio.h>
    void perror(const char *s);作用：打印errno对应的错误描述
        参数s：用户描述，比如hello，最终输出的内容是  hello:xxx(实际的错误描述)
*/

#include <stdio.h>
// 系统宏
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
// fopen函数声明头文件
#include <fcntl.h>
// close函数声明头文件
#include <unistd.h>

int main()
{
    // 打开一个文件
    int fd = open("a.txt", O_RDONLY);

    if(fd == -1) {
        perror("open");
    }
    // 读写操作

    // 关闭
    close(fd);

    return 0;
}
```

- `int open(const char *pathname, int flags, mode_t mode);`，使用`man 2 open`查看帮助
  - 参数
    - `pathname`：要创建的文件的路径
    - `flags`：对文件的操作权限和其他的设置
      - 必选项：`O_RDONLY`，`O_WRONLY`，`O_RDWR` 这三个之间是互斥的
      - 可选项：`O_CREAT` 文件不存在，创建新文件
      - `flags`参数是一个int类型的数据，占4个字节，32位，每一位就是一个标志位，所以用`|`可以保证能够实现多个操作
    - `mode`：八进制的数，表示创建出的新的文件的操作权限，比如：0775

```c
/*
            最终的权限是：mode & ~umask
            0777    ->   111111111
        &   0775    ->   111111101
        ----------------------------
                         111111101
        按位与：0和任何数都为0
        umask的作用就是抹去某些权限，可以直接在终端输入 umask 查看默认值
*/
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
```

```c
#include <fcntl.h>
#include <unistd.h>
#include <stdio.h>

int main()
{
    // 创建一个新的文件
    int fd = open("create.txt", O_RDWR | O_CREAT, 0777);

    if(fd == -1) {
        perror("open");
    }

    // 关闭
    close(fd);

    return 0;
}
```

- `int close(int fd);`

read & write

- `ssize_t read(int fd, void *buf, size_t count);`，使用`man 2 read`查看帮助
  - 参数
    - `fd`：文件描述符，open得到的，通过这个文件描述符操作某个文件
    - `buf`：需要读取数据存放的地方，数组的地址（传出参数）
    - `count`：指定的数组的大小
  - 返回值
    - 成功
      - `> 0`：返回实际的读取到的字节数
      - `= 0`：文件已经读取完了
    - 失败：-1
- `ssize_t write(int fd, const void *buf, size_t count);`，使用`man 2 write`查看帮助
  - 参数
    - `fd`：文件描述符，open得到的，通过这个文件描述符操作某个文件
    - `buf`：要往磁盘写入的数据
    - `count`：要写的数据的实际的大小
  - 返回值
    - 成功：实际写入的字节数
    - 失败：返回-1，并设置`errno`

```c
#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
```

```c
int main()
{
    // 1.通过open打开english.txt文件
    int srcfd = open("english.txt", O_RDONLY);
    if(srcfd == -1) {
        perror("open");
        return -1;
    }

    // 2.创建一个新的文件（拷贝文件）
    int destfd = open("cpy.txt", O_WRONLY | O_CREAT, 0664);
    if(destfd == -1) {
        perror("open");
        return -1;
    }

    // 3.频繁的读写操作
    char buf[1024] = {0};
    int len = 0;
    while((len = read(srcfd, buf, sizeof(buf))) > 0) {
        write(destfd, buf, len);
    }

    // 4.关闭文件
    close(destfd);
    close(srcfd);


    return 0;
}
```

lseek

- `off_t lseek(int fd, off_t offset, int whence);`，使用`man 2 lseek`查看帮助

```c
/*
    标准C库的函数
    #include <stdio.h>
    int fseek(FILE *stream, long offset, int whence);

    Linux系统函数
    #include <sys/types.h>
    #include <unistd.h>
    off_t lseek(int fd, off_t offset, int whence);
        参数：
            - fd：文件描述符，通过open得到的，通过这个fd操作某个文件
            - offset：偏移量
            - whence:
                SEEK_SET
                    设置文件指针的偏移量
                SEEK_CUR
                    设置偏移量：当前位置 + 第二个参数offset的值
                SEEK_END
                    设置偏移量：文件大小 + 第二个参数offset的值
        返回值：返回文件指针的位置
```

```
    作用：
        1.移动文件指针到文件头
        lseek(fd, 0, SEEK_SET);

        2.获取当前文件指针的位置
        lseek(fd, 0, SEEK_CUR);

        3.获取文件长度
        lseek(fd, 0, SEEK_END);

        4.拓展文件的长度，当前文件10b，110b，增加了100个字节
        lseek(fd, 100, SEEK_END)
        注意：需要写一次数据

*/

#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#include <unistd.h>
#include <stdio.h>

int main()
{
    int fd = open("hello.txt", O_RDWR);

    if(fd == -1) {
        perror("open");
        return -1;
    }

    // 扩展文件的长度
    int ret = lseek(fd, 100, SEEK_END);
    if(ret == -1) {
        perror("lseek");
        return -1;
    }

    // 写入一个空数据，如果缺少，那么会扩展失败
    write(fd, " ", 1);

    // 关闭文件
    close(fd);

    return 0;
}
```

- 扩展前

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ ll
total 20
drwxrwxr-x 3 u u 4096 Sep  5 18:24 ./
drwxr-xr-x 4 u u 4096 Sep  5 16:26 ../
-rw-rw-r-- 1 u u    5 Sep  5 18:25 hello.txt
-rw-rw-r-- 1 u u 1589 Sep  5 18:24 lseek.c
drwxrwxr-x 2 u u 4096 Sep  3 10:49 test/
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$
```

- 扩展后（原先为5个字节，扩展100个字节，然后写入一个字节）

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ gcc lseek.c -o lseek
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ ./lseek
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ ll
total 32
drwxrwxr-x 3 u u 4096 Sep  5 18:29 ./
drwxr-xr-x 4 u u 4096 Sep  5 16:26 ../
-rw-rw-r-- 1 u u  106 Sep  5 18:29 hello.txt
-rwxrwxr-x 1 u u 8472 Sep  5 18:29 lseek*
-rw-rw-r-- 1 u u 1589 Sep  5 18:28 lseek.c
drwxrwxr-x 2 u u 4096 Sep  3 10:49 test/
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$
```

stat & lstat(获取文件信息及软链接信息)

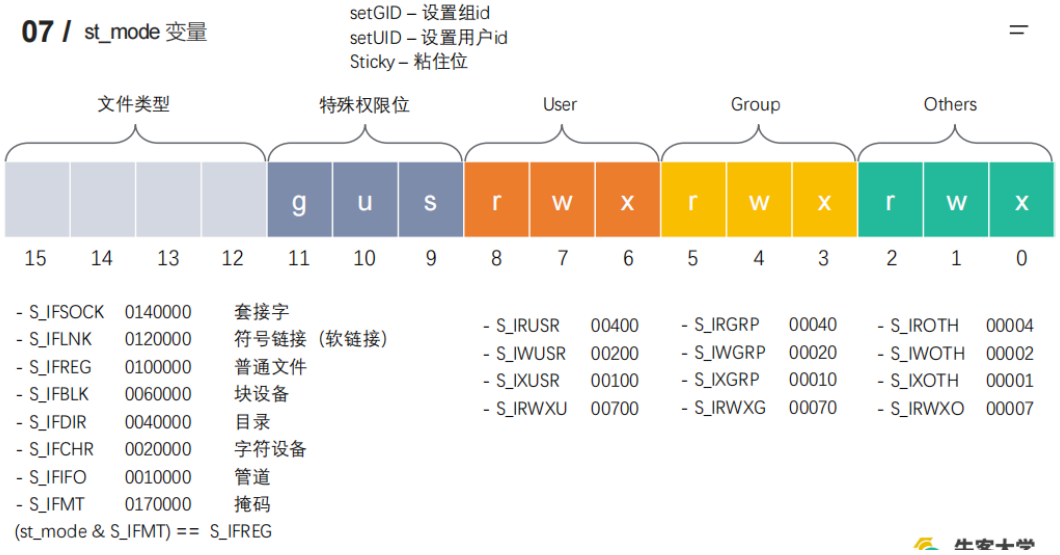
- `int stat(const char *pathname, struct stat *statbuf);`，使用`man 2 stat`查看帮助
- `int lstat(const char *pathname, struct stat *statbuf);`，使用`man 2 lstat`查看帮助
- Linux命令：`stat`

```
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$ stat a.txt
  File: a.txt
  Size: 0               Blocks: 0          IO Block: 4096   regular empty file
Device: 801h/2049d      Inode: 789632      Links: 1
Access: (0664/-rw-rw-r--)  Uid: ( 1000/       u)   Gid: ( 1000/       u)
Access: 2021-09-05 18:37:33.940992500 +0800
Modify: 2021-09-05 18:37:33.940992500 +0800
Change: 2021-09-05 18:37:33.940992500 +0800
 Birth: -
u@ubuntu:~/Desktop/Linux$
```

- `stat`结构体

```
struct stat {
    dev_t st_dev; // 文件的设备编号
    ino_t st_ino; // 节点
    mode_t st_mode; // 文件的类型和存取的权限
    nlink_t st_nlink; // 连到该文件的硬连接数目
    uid_t st_uid; // 用户ID
    gid_t st_gid; // 组ID
    dev_t st_rdev; // 设备文件的设备编号
    off_t st_size; // 文件字节数(文件大小)
    blksize_t st_blksize; // 块大小
    blkcnt_t st_blocks; // 块数
    time_t st_atime; // 最后一次访问时间
    time_t st_mtime; // 最后一次修改时间
    time_t st_ctime; // 最后一次改变时间(指属性)
};
```

  - `st_mode`




```
/*
    #include <sys/types.h>
    #include <sys/stat.h>
    #include <unistd.h>

    int stat(const char *pathname, struct stat *statbuf);
        作用：获取一个文件相关的一些信息
        参数：
            - pathname：操作的文件的路径
            - statbuf：结构体变量，传出参数，用于保存获取到的文件的信息
        返回值：
            成功：返回0
            失败：返回-1 设置errno

    int lstat(const char *pathname, struct stat *statbuf);
        参数：
            - pathname：操作的文件的路径
            - statbuf：结构体变量，传出参数，用于保存获取到的文件的信息
        返回值：
            成功：返回0
            失败：返回-1 设置errno

*/

#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <unistd.h>
#include <stdio.h>

int main()
{
    struct stat statbuf;

    int ret = stat("a.txt", &statbuf);

    if(ret == -1) {
        perror("stat");
        return -1;
    }
```

```
    printf("size: %ld\n", statbuf.st_size);


    return 0;
}
```

模拟实现`ls -l`

```
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <unistd.h>
#include <pwd.h>        // for getpwuid()
#include <grp.h>        // for getgrgid()
#include <time.h>       // for ctime()
#include <string.h>     // for strncpy(), strlen()

// 模拟实现 ls -l 指令
// -rw-rw-r-- 1 nowcoder nowcoder 12 12月  3 15:48 a.txt
int main(int argc, char * argv[])
{
    // 判断输入的参数是否正确
    if(argc < 2) {
        printf("%s filename\n", argv[0]);
        return -1;
    }

    // 通过stat函数获取用户传入的文件的信息
    struct stat st;
    int ret = stat(argv[1], &st);
    if(ret == -1) {
        perror("stat");
        return -1;
    }

    // 获取文件类型和文件权限
    char perms[11] = {0};   // 用于保存文件类型和文件权限的字符串

    switch(st.st_mode & S_IFMT) {
        case S_IFLNK:
            perms[0] = 'l';
            break;
        case S_IFDIR:
            perms[0] = 'd';
            break;
        case S_IFREG:
            perms[0] = '-';
            break;
        case S_IFBLK:
            perms[0] = 'b';
            break;
        case S_IFCHR:
            perms[0] = 'c';
            break;
```

```
        case S_IFSOCK:
            perms[0] = 's';
            break;
        case S_IFIFO:
            perms[0] = 'p';
            break;
        default:
            perms[0] = '?';
            break;
    }

    // 判断文件的访问权限

    // 文件所有者
    perms[1] = (st.st_mode & S_IRUSR) ? 'r' : '-';
    perms[2] = (st.st_mode & S_IWUSR) ? 'w' : '-';
    perms[3] = (st.st_mode & S_IXUSR) ? 'x' : '-';

    // 文件所在组
    perms[4] = (st.st_mode & S_IRGRP) ? 'r' : '-';
    perms[5] = (st.st_mode & S_IWGRP) ? 'w' : '-';
    perms[6] = (st.st_mode & S_IXGRP) ? 'x' : '-';

    // 其他人
    perms[7] = (st.st_mode & S_IROTH) ? 'r' : '-';
    perms[8] = (st.st_mode & S_IWOTH) ? 'w' : '-';
    perms[9] = (st.st_mode & S_IXOTH) ? 'x' : '-';

    // 硬连接数
    int linkNum = st.st_nlink;

    // 文件所有者
    char* fileUser = getpwuid(st.st_uid)->pw_name;

    // 文件所在组
    char* fileGrp = getgrgid(st.st_gid)->gr_name;

    // 文件大小
    long int fileSize = st.st_size;

    // 获取修改的时间
    char* time = ctime(&st.st_mtime);

    char mtime[512] = {0};
    strncpy(mtime, time, strlen(time) - 1);

    char buf[1024];
    sprintf(buf, "%s %d %s %s %ld %s %s", perms, linkNum, fileUser, fileGrp,
fileSize, mtime, argv[1]);

    printf("%s\n", buf);

    return 0;
}
```

文件属性操作函数

access

- `int access(const char *pathname, int mode);`

```
/*
    #include <unistd.h>
    int access(const char *pathname, int mode);
        作用：判断某个文件是否有某个权限，或者判断文件是否存在
        参数：
            - pathname: 判断的文件路径
            - mode:
                R_OK: 判断是否有读权限
                W_OK: 判断是否有写权限
                X_OK: 判断是否有执行权限
                F_OK: 判断文件是否存在
        返回值：成功返回0， 失败返回-1
*/

#include <unistd.h>
#include <stdio.h>

int main()
{
    int ret = access("a.txt", F_OK);
    if(ret == -1) {
        perror("access");
    }

    printf("文件存在！！！\n");

    return 0;
}
```

chmod & chown

- `int chmod(const char *filename, int mode);`

```
/*
    #include <sys/stat.h>
    int chmod(const char *pathname, mode_t mode);
        修改文件的权限
        参数：
            - pathname: 需要修改的文件的路径
            - mode:需要修改的权限值，八进制的数
        返回值：成功返回0，失败返回-1

*/
#include <sys/stat.h>
#include <stdio.h>
int main()
{
    int ret = chmod("a.txt", 0777);
```

```
    if(ret == -1) {
        perror("chmod");
        return -1;
    }

    return 0;
}
```

- `int chown(const char *path, uid_t owner, gid_t group);`
    - 修改文件所有者
    - 可使用`vim /etc/passwd`查看有哪些用户
    - 可使用`vim /etc/group`查看有哪些组

truncate

- `int truncate(const char *path, off_t length);`

```
/*
    #include <unistd.h>
    #include <sys/types.h>
    int truncate(const char *path, off_t length);
        作用：缩减或者扩展文件的尺寸至指定的大小
        参数：
            - path：需要修改的文件的路径
            - length：需要最终文件变成的大小
        返回值：
            成功返回0， 失败返回-1
*/

#include <unistd.h>
#include <sys/types.h>
#include <stdio.h>

int main()
{
    int ret = truncate("b.txt", 5);

    if(ret == -1) {
        perror("truncate");
        return -1;
    }

    return 0;
}
```

目录操作函数

mkdir

- `int mkdir(const char *pathname, mode_t mode);`

```
/*
    #include <sys/stat.h>
```

```
    #include <sys/types.h>
    int mkdir(const char *pathname, mode_t mode);
        作用：创建一个目录
        参数：
            pathname：创建的目录的路径
            mode：权限，八进制的数
        返回值：
            成功返回0，  失败返回-1
*/

#include <sys/stat.h>
#include <sys/types.h>
#include <stdio.h>

int main()
{
    int ret = mkdir("aaa", 0777);

    if(ret == -1) {
        perror("mkdir");
        return -1;
    }

    return 0;
}
```

rename

- `int rename(const char *oldpath, const char *newpath);`

```
/*
    #include <stdio.h>
    int rename(const char *oldpath, const char *newpath);

*/
#include <stdio.h>

int main()
{
    int ret = rename("aaa", "bbb");

    if(ret == -1) {
        perror("rename");
        return -1;
    }

    return 0;
}
```

chdir & getcwd

- `int chdir(const char *path);`
- `char *getcwd(char *buf, size_t size);`

```
/*

    #include <unistd.h>
    int chdir(const char *path);
        作用：修改进程的工作目录
            比如在/home/nowcoder 启动了一个可执行程序a.out, 进程的工作目录
/home/nowcoder
        参数：
            path : 需要修改的工作目录

    #include <unistd.h>
    char *getcwd(char *buf, size_t size);
        作用：获取当前工作目录
        参数：
            - buf : 存储的路径，指向的是一个数组（传出参数）
            - size: 数组的大小
        返回值：
            返回的指向的一块内存，这个数据就是第一个参数

*/
#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/stat.h>
#include <sys/types.h>
#include <fcntl.h>

int main()
{
    // 获取当前的工作目录
    char buf[128];
    getcwd(buf, sizeof(buf));
    printf("当前的工作目录是：%s\n", buf);

    // 修改工作目录
    int ret = chdir("/home/u/Desktop/Linux/test");
    if(ret == -1) {
        perror("chdir");
        return -1;
    }

    // 创建一个新的文件
    int fd = open("chdir.txt", O_CREAT | O_RDWR, 0664);
    if(fd == -1) {
        perror("open");
        return -1;
    }

    close(fd);

    // 获取当前的工作目录
```

```
    char buf1[128];
    getcwd(buf1, sizeof(buf1));
    printf("当前的工作目录是：%s\n", buf1);

    return 0;
}
```

目录遍历函数

- 打开一个目录：`DIR *opendir(const char *name);`
- 读取目录中的数据：`struct dirent *readdir(DIR *dirp);`
- 关闭目录：`int closedir(DIR *dirp);`
- `dirent` 结构体和 `d_type`

```
struct dirent
{
    // 此目录进入点的inode
    ino_t d_ino;
    // 目录文件开头至此目录进入点的位移
    off_t d_off;
    // d_name 的长度, 不包含NULL字符
    unsigned short int d_reclen;
    // d_name 所指的文件类型
    unsigned char d_type;
    // 文件名
    char d_name[256];
};
```

  - `d_type`

- **读取文件夹文件数目**实例

```
/*
    // 打开一个目录
    #include <sys/types.h>
    #include <dirent.h>
    DIR *opendir(const char *name);
        参数:
```

```
            - name: 需要打开的目录的名称
        返回值：
            DIR * 类型，理解为目录流
            错误返回NULL


    // 读取目录中的数据
    #include <dirent.h>
    struct dirent *readdir(DIR *dirp);
        - 参数：dirp是opendir返回的结果
        - 返回值：
            struct dirent，代表读取到的文件的信息
            读取到了末尾或者失败了，返回NULL

    // 关闭目录
    #include <sys/types.h>
    #include <dirent.h>
    int closedir(DIR *dirp);

*/
#include <sys/types.h>
#include <dirent.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>

int getFileNum(const char * path);

// 读取某个目录下所有的普通文件的个数
int main(int argc, char * argv[])
{
    if(argc < 2) {
        printf("%s path\n", argv[0]);
        return -1;
    }

    int num = getFileNum(argv[1]);

    printf("普通文件的个数为：%d\n", num);

    return 0;
}

// 用于获取目录下所有普通文件的个数
int getFileNum(const char * path) {

    // 1.打开目录
    DIR * dir = opendir(path);

    if(dir == NULL) {
        perror("opendir");
        exit(0);
    }

    struct dirent *ptr;
```

```
    // 记录普通文件的个数
    int total = 0;

    while((ptr = readdir(dir)) != NULL) {

        // 获取名称
        char * dname = ptr->d_name;

        // 忽略掉. 和..
        if(strcmp(dname, ".") == 0 || strcmp(dname, "..") == 0) {
            continue;
        }

        // 判断是否是普通文件还是目录
        if(ptr->d_type == DT_DIR) {
            // 目录,需要继续读取这个目录
            char newpath[256];
            sprintf(newpath, "%s/%s", path, dname);
            total += getFileNum(newpath);
        }

        if(ptr->d_type == DT_REG) {
            // 普通文件
            total++;
        }
    }

    // 关闭目录
    closedir(dir);

    return total;
}
```

文件描述符之`dup`、`dup2`

dup

- `int dup(int oldfd);`
- 复制文件描述符

```
/*
    #include <unistd.h>
    int dup(int oldfd);
        作用: 复制一个新的文件描述符
        fd=3, int fd1 = dup(fd),
        fd指向的是a.txt, fd1也是指向a.txt
        从空闲的文件描述符表中找一个最小的, 作为新的拷贝的文件描述符


*/

#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
#include <fcntl.h>
```

```c
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <string.h>

int main()
{
    int fd = open("a.txt", O_RDWR | O_CREAT, 0664);

    int fd1 = dup(fd);

    if(fd1 == -1) {
        perror("dup");
        return -1;
    }

    printf("fd : %d , fd1 : %d\n", fd, fd1);

    close(fd);

    char * str = "hello,world";
    int ret = write(fd1, str, strlen(str));
    if(ret == -1) {
        perror("write");
        return -1;
    }

    close(fd1);

    return 0;
}
```

dup2

- `int dup2(int oldfd, int newfd);`
- 重定向文件描述符

```c
/*
    #include <unistd.h>
    int dup2(int oldfd, int newfd);
        作用：重定向文件描述符
        oldfd 指向 a.txt, newfd 指向 b.txt
        调用函数成功后：newfd 和 b.txt 做close, newfd 指向了 a.txt
        oldfd 必须是一个有效的文件描述符
        oldfd和newfd值相同，相当于什么都没有做
*/
#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <sys/stat.h>
#include <sys/types.h>
#include <fcntl.h>

int main()
{
    int fd = open("1.txt", O_RDWR | O_CREAT, 0664);
```

```
    if(fd == -1) {
        perror("open");
        return -1;
    }

    int fd1 = open("2.txt", O_RDWR | O_CREAT, 0664);
    if(fd1 == -1) {
        perror("open");
        return -1;
    }

    printf("fd : %d, fd1 : %d\n", fd, fd1);

    int fd2 = dup2(fd, fd1);
    if(fd2 == -1) {
        perror("dup2");
        return -1;
    }

    // 通过fd1去写数据，实际操作的是1.txt，而不是2.txt
    char * str = "hello, dup2";
    int len = write(fd1, str, strlen(str));

    if(len == -1) {
        perror("write");
        return -1;
    }

    printf("fd : %d, fd1 : %d, fd2 : %d\n", fd, fd1, fd2);

    close(fd);
    close(fd1);

    return 0;
}
```

fcntl 函数

- `int fcntl(int fd, int cmd, ... /* arg */ );`
- **复制文件描述符和设置/获取文件的状态标志**

```
/*

    #include <unistd.h>
    #include <fcntl.h>

    int fcntl(int fd, int cmd, ...);
    参数:
        fd : 表示需要操作的文件描述符
        cmd: 表示对文件描述符进行如何操作
            - F_DUPFD : 复制文件描述符,复制的是第一个参数fd，得到一个新的文件描述符（返回值）
                int ret = fcntl(fd, F_DUPFD);
```

```
            - F_GETFL : 获取指定的文件描述符文件状态flag
              获取的flag和我们通过open函数传递的flag是一个东西。

            - F_SETFL : 设置文件描述符文件状态flag
              必选项：O_RDONLY, O_WRONLY, O_RDWR 不可以被修改
              可选性：O_APPEND, O_NONBLOCK
                O_APPEND 表示追加数据
                NONBLOK 设置成非阻塞

        阻塞和非阻塞：描述的是函数调用的行为。
*/

#include <unistd.h>
#include <fcntl.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>

int main()
{
    // 1.复制文件描述符
    // int fd = open("1.txt", O_RDONLY);
    // int ret = fcntl(fd, F_DUPFD);

    // 2.修改或者获取文件状态flag
    int fd = open("1.txt", O_RDWR);
    if(fd == -1) {
        perror("open");
        return -1;
    }

    // 获取文件描述符状态flag
    int flag = fcntl(fd, F_GETFL);
    if(flag == -1) {
        perror("fcntl");
        return -1;
    }
    flag |= O_APPEND;   // flag = flag | O_APPEND

    // 修改文件描述符状态的flag，给flag加入O_APPEND这个标记
    int ret = fcntl(fd, F_SETFL, flag);
    if(ret == -1) {
        perror("fcntl");
        return -1;
    }

    char * str = "nihao";
    write(fd, str, strlen(str));

    close(fd);

    return 0;
}
```