## 1. HelloWorld背后没那么简单

### 1.1 交叉编译hello.c

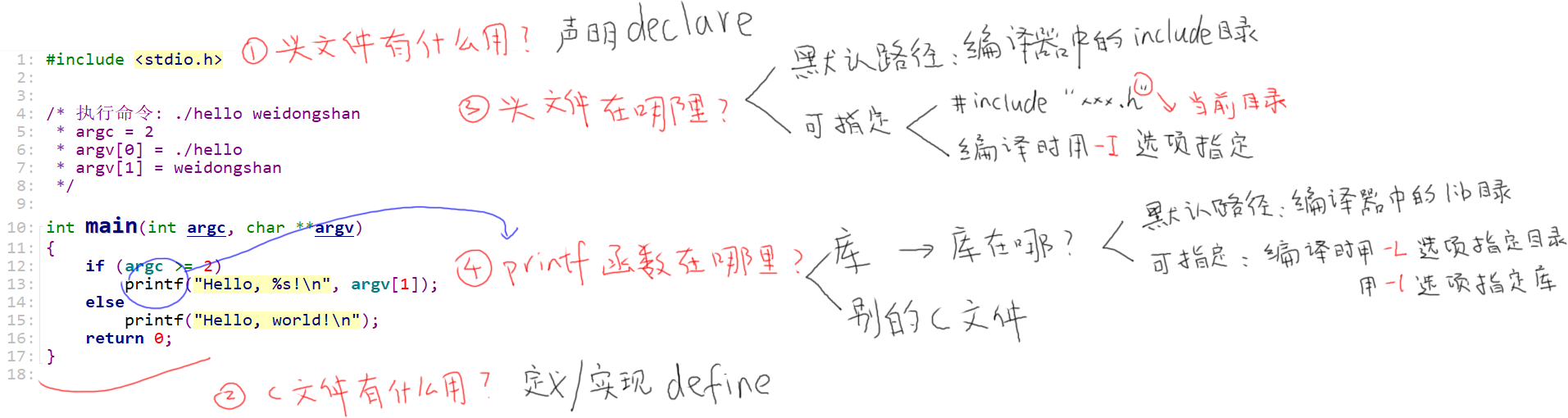
准备工作：

① 解压工具链、设置PATH环境变量，确定编译器名称；然后才可以编译。

② 要在板子上运行，使用NFS会比较方便。

这2点，都可以参考开发板的高级用户使用手册。

### 1.2 请回答这几个问题



① 怎么确定交叉编译器中头文件的默认路径？

进入交叉编译器的目录里，执行：find -name “stdio.h”，它位于一个“include”目录下的根目录里。

这个“include”目录，就是要找的路径。

② 怎么自己指定头文件目录？

编译时，加上“-I <头文件目录>”这样的选项。

③ 怎么确定交叉编译器中库文件的默认路径？

进入交叉编译器的目录里，执行：find -name lib，可以得到xxxx/lib、xxxx/usr/lib，一般来说这2个目录就是要找的路径。

如果有很多类似的lib，进去看看，有很多so文件的目录一般就是要找的路径。

④ 怎么自己指定库文件目录、指定要用的库文件？

编译时，加上“-L <库文件目录>”这样的选项，用来指定库目录；

编译时，加上“-labc”这样的选项，用来指定库文件libabc.so。

### 1.3 演示

## 2. GCC编译器的使用

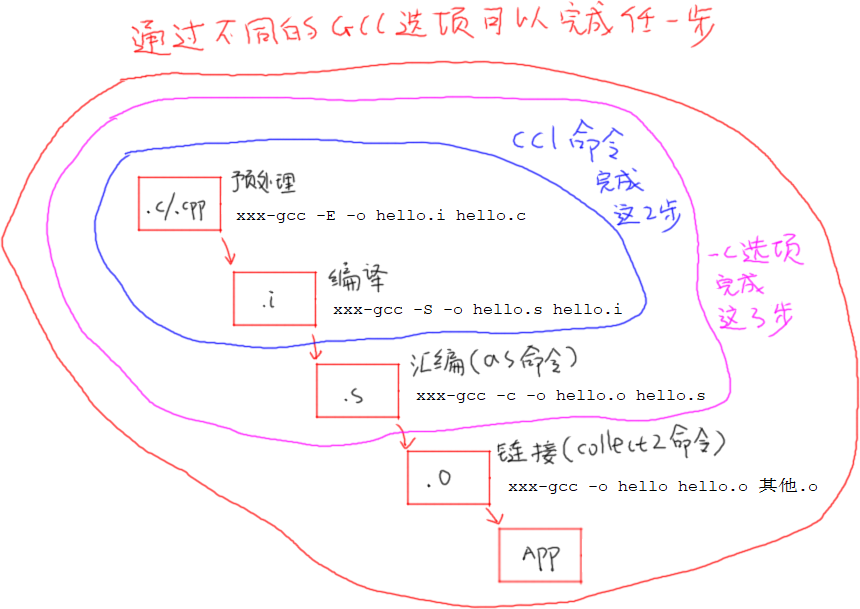
源文件需要经过编译才能生成可执行文件。在Windows下进行开发时，只需要点几个按钮即可编译，集成开发环境(比如Visual studio)已经将各种编译工具的使用封装好了。Linux下也有很优秀的集成开发工具，但是更多的时候是直接使用编译工具；即使使用集成开发工具，也需要掌握一些编译选项。

PC机上的编译工具链为gcc、ld、objcopy、objdump等，它们编译出来的程序在x86平台上运行。要编译出能在ARM平台上运行的程序，必须使用交叉编译工具xxx-gcc、xxx-ld等(不同版本的编译器的前缀不一样，比如arm-linux-gcc)，下面分别介绍。

### 2.0 配套视频内容大纲

#### 2.0.1 GCC编译过程(精简版)

一个C/C++文件要经过预处理(preprocessing)、编译(compilation)、汇编(assembly)和链接(linking)等4步才能变成可执行文件。



在日常交流中通常使用“编译”统称这4个步骤，如果不是特指这4个步骤中的某一个，本教程也依惯例使用“编译”这个统称。

cc1 main.c -o /tmp/ccXCx1YG.s

as -o /tmp/ccZfdaDo.o /tmp/ccXCx1YG.s

cc1 sub.c -o /tmp/ccXCx1YG.s

as -o /tmp/ccn8Cjq6.o /tmp/ccXCx1YG.s

collect2 -o test /tmp/ccZfdaDo.o /tmp/ccn8Cjq6.o ....

#### 2.0.2 常用编译选项

在学习时，我们暂时只需要了解下表中的选项。

|  |  |
| --- | --- |
| 常用选项 | 描述 |
| -E | 预处理，开发过程中想快速确定某个宏可以使用“-E -dM” |
| -c | 把预处理、编译、汇编都做了，但是不链接 |
| -o | 指定输出文件 |
| -I | 指定头文件目录 |
| -L | 指定链接时库文件目录 |
| -l | 指定链接哪一个库文件 |

#### 2.0.3 怎么编译多个文件

① 一起编译、链接：

gcc -o test main.c sub.c

② 分开编译，统一链接：

gcc -c -o main.o main.c

gcc -c -o sub.o sub.c

gcc -o test main.o sub.o

#### 2.0.4 制作、使用动态库

制作、编译：

gcc -c -o main.o main.c

gcc -c -o sub.o sub.c

gcc -shared -o libsub.so sub.o ~~sub2.o sub3.o(~~可以使用多个.o生成动态库~~)~~

gcc -o test main.o -lsub -L /libsub.so/所在目录/

运行：

① 先把libusb.so放到PC或板子上的/lib目录，然后就可以运行test程序。

② 如果不想把libusb.so放到/lib，也可以放在某个目录比如/a，然后如下执行：

export LD\_LIBRARY\_PATH=$LD\_LIBRARY\_PATH:/a

./test

#### 2.0.5 制作、使用静态库

gcc -c -o main.o main.c

gcc -c -o sub.o sub.c

ar crs libsub.a sub.o ~~sub2.o sub3.o(~~可以使用多个.o生成静态库~~)~~

gcc -o test main.o libsub.a (如果.a不在当前目录下，需要指定它的绝对或相对路径)

运行：

不需要把静态库libsub.a放到板子上。

#### 2.0.6 很有用的选项

gcc -E main.c // 查看预处理结果，比如头文件是哪个

gcc -E -dM main.c > 1.txt // 把所有的宏展开，存在1.txt里

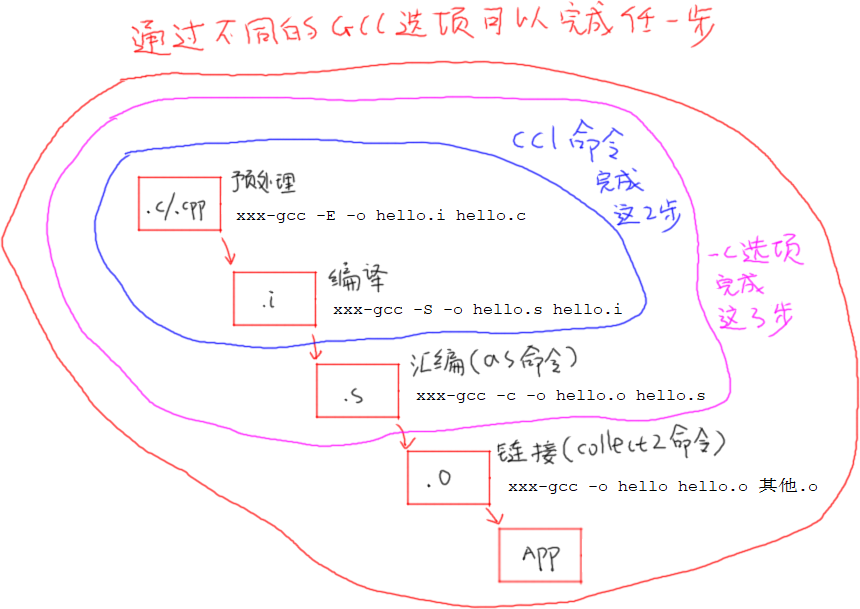
gcc -Wp,-MD,abc.dep -c -o main.o main.c // 生成依赖文件abc.dep，后面Makefile会用

我们的视频会配套写成书：《嵌入式Linux应用开发完全手册 升级版》。下面的资料会写进书里，我会写得详细一点。

下面的资料来自GCC官方文档及一些中文资料，没必要逐一研读，用到时再翻翻。

### 2.1 GCC编译过程

一个C/C++文件要经过预处理(preprocessing)、编译(compilation)、汇编(assembly)和链接(linking)等4步才能变成可执行文件。



在日常交流中通常使用“编译”统称这4个步骤，如果不是特指这4个步骤中的某一个，本教程也依惯例使用“编译”这个统称。

本节文档使用x86上的gcc来试验，使用ARM板的交叉编译工具链做实验时效果也是类似的。不同的交叉编译器工具链前缀可能不同，比如arm-linux-gcc。

（1）预处理

C/C++源文件中，以“#”开头的命令被称为预处理命令，如包含命令“#include”、宏定义命令“#define”、条件编译命令“#if”、“#ifdef”等。预处理就是将要包含(include)的文件插入原文件中、将宏定义展开、根据条件编译命令选择要使用的代码，最后将这些东西输出到一个“.i”文件中等待进一步处理。

（2）编译

编译就是把C/C++代码(比如上述的“.i”文件)“翻译”成汇编代码，所用到的工具为cc1(它的名字就是cc1，x86有自己的cc1命令，ARM板也有自己的cc1命令)。

（3）汇编

汇编就是将第二步输出的汇编代码翻译成符合一定格式的机器代码，在Linux系统上一般表现为ELF目标文件(OBJ文件)，用到的工具为as。x86有自己的as命令，ARM版也有自己的as命令，也可能是xxxx-as（比如arm-linux-as）。

“反汇编”是指将机器代码转换为汇编代码，这在调试程序时常常用到。

（4）链接

链接就是将上步生成的OBJ文件和系统库的OBJ文件、库文件链接起来，最终生成了可以在特定平台运行的可执行文件，用到的工具为ld或collect2。

编译程序时，加上-v选项就可以看到这几个步骤。比如：

gcc -o hello hello.c -v

可以看到很多输出结果，我们把其中的主要信息摘出来：

cc1 hello.c -o /tmp/cctETob7.s

as -o /tmp/ccvv2KbL.o /tmp/cctETob7.s

collect2 -o hello crt1.o crti.o crtbegin.o /tmp/ccvv2KbL.o crtend.o crtn.o

以上3个命令分别对应于编译步骤中的预处理+编译、汇编和链接，ld被collect2调用来链接程序。预处理和编译被放在了一个命令（cc1）中进行的，可以把它再次拆分为以下两步：

cpp -o hello.i hello.c

cc1 hello.i -o /tmp/cctETob7.s

我们不需要手工去执行cpp、cc1、collect2等命令，我们直接执行gcc并指定不同的参数就可以了。

可以通过各种选项来控制gcc的动作，下面介绍一些常用的选项。

|  |  |
| --- | --- |
| 常用选项 | 描述 |
| -E | 预处理，开发过程中想快速确定某个宏可以使用“-E -dM” |
| -c | 把预处理、编译、汇编都做了，但是不链接 |
| -o | 指定输出文件 |
| -I | 指定头文件目录 |
| -L | 指定链接时库文件目录 |
| -l | 指定链接哪一个库文件 |

### 2.2 GCC总体选项(Overall Option)

（1）-c

预处理、编译和汇编源文件，但是不作链接，编译器根据源文件生成OBJ文件。缺省情况下，GCC通过用`.o'替换源文件名的后缀`.c'，`.i'，`.s'等，产生OBJ文件名。可以使用-o选项选择其他名字。GCC忽略-c选项后面任何无法识别的输入文件。

（2）-S

编译后即停止，不进行汇编。对于每个输入的非汇编语言文件，输出结果是汇编语言文件。缺省情况下，GCC通过用`.s'替换源文件名后缀`.c'，`.i'等等，产生汇编文件名。可以使用-o选项选择其他名字。GCC忽略任何不需要汇编的输入文件。

（3）-E

预处理后即停止，不进行编译。预处理后的代码送往标准输出。

（4）-o file

指定输出文件为file。无论是预处理、编译、汇编还是链接，这个选项都可以使用。如果没有使用`-o'选项，默认的输出结果是：可执行文件为`a.out'；修改输入文件的名称是`source.suffix'，则它的OBJ文件是`source.o'，汇编文件是 `source.s'，而预处理后的C源代码送往标准输出。

（5）-v

显示制作GCC工具自身时的配置命令；同时显示编译器驱动程序、预处理器、编译器的版本号。

以一个程序为例，它包含三个文件，代码在02\_options目录下。下面列出源码：

File: main.c

01 #include <stdio.h>

02 #include "sub.h"

03

04 int main(int argc, char \*argv[])

05 {

06 int i;

07 printf("Main fun!\n");

08 sub\_fun();

09 return 0;

10 }

11

File: sub.h

01 void sub\_fun(void);

02

File: sub.c

01 void sub\_fun(void)

02 {

03 printf("Sub fun!\n");

04 }

05

ARM版本的编译工具与gcc、ld等工具的使用方法相似，很多选项是一样的。本节使用gcc、ld等工具进行编译、链接，这样可以在PC上直接看到运行结果。使用上面介绍的选项进行编译，命令如下：

$ gcc -c -o main.o main.c

$ gcc -c -o sub.o sub.c

$ gcc -o test main.o sub.o

其中，main.o、sub.o是经过了预处理、编译、汇编后生成的OBJ文件，它们还没有被链接成可执行文件；最后一步将它们链接成可执行文件test，可以直接运行以下命令：

$ ./test

Main fun!

Sub fun!

现在试试其他选项，以下命令生成的main.s是main.c的汇编语言文件：

$ gcc -S -o main.s main.c

以下命令对main.c进行预处理，并将得到的结果打印出来。里面扩展了所有包含的文件、所有定义的宏。在编写程序时，有时候查找某个宏定义是非常繁琐的事，可以使用`-dM –E’选项来查看。命令如下：

$ gcc -E main.c

### 2.3 警告选项(Warning Option)

（1）-Wall

这个选项基本打开了所有需要注意的警告信息，比如没有指定类型的声明、在声明之前就使用的函数、局部变量除了声明就没再使用等。

上面的main.c文件中，第6行定义的变量i没有被使用，但是使用“gcc –c –o main.o main.c”进行编译时并没有出现提示。

可以加上-Wall选项，例子如下：

$ gcc -Wall -c main.c

执行上述命令后，得到如下警告信息：

main.c: In function `main':

main.c:6: warning: unused variable `i'

这个警告虽然对程序没有坏的影响，但是有些警告需要加以关注，比如类型匹配的警告等。

### 2.4 调试选项(Debugging Option)

（1）-g

以操作系统的本地格式(stabs，COFF，XCOFF，或DWARF)产生调试信息，GDB能够使用这些调试信息。在大多数使用stabs格式的系统上，`-g'选项加入只有GDB才使用的额外调试信息。可以使用下面的选项来生成额外的信息：`-gstabs+'，`-gstabs'，`-gxcoff+'，`-gxcoff'，`-gdwarf+'或`-gdwarf'，具体用法请读者参考GCC手册。

### 2.5 优化选项(Optimization Option)

（1）-O或-O1

优化：对于大函数，优化编译的过程将占用稍微多的时间和相当大的内存。不使用`-O'或`-O1'选项的目的是减少编译的开销，使编译结果能够调试、语句是独立的：如果在两条语句之间用断点中止程序，可以对任何变量重新赋值，或者在函数体内把程序计数器指到其他语句，以及从源程序中精确地获取你所期待的结果。

不使用`-O'或`-O1'选项时，只有声明了register的变量才分配使用寄存器。

使用了`-O'或`-O1'选项，编译器会试图减少目标码的大小和执行时间。如果指定了`-O'或`-O1'选项,，`-fthread-jumps'和`-fdefer-pop'选项将被打开。在有delay slot的机器上，`-fdelayed-branch'选项将被打开。在即使没有帧指针 (frame pointer)也支持调试的机器上，`-fomit-frame-pointer'选项将被打开。某些机器上还可能会打开其他选项。

（2）-O2

多优化一些。除了涉及空间和速度交换的优化选项，执行几乎所有的优化工作。例如不进行循环展开(loop unrolling)和函数内嵌(inlining)。和`-O'或`-O1'选项比较，这个选项既增加了编译时间，也提高了生成代码的运行效果。

（3）-O3

优化的更多。除了打开-O2所做的一切，它还打开了-finline-functions选项。

（4）-O0

不优化。

如果指定了多个-O选项，不管带不带数字，生效的是最后一个选项。

在一般应用中，经常使用-O2选项，比如对于options程序：

$ gcc -O2 -c -o main.o main.c

$ gcc -O2 -c -o sub.o sub.c

$ gcc -o test main.o sub.o

### 2.6 链接器选项(Linker Option)

下面的选项用于链接OBJ文件，输出可执行文件或库文件。

（1）object-file-name

如果某些文件没有特别明确的后缀(a special recognized suffix)，GCC就认为他们是OBJ文件或库文件(根据文件内容,链接器能够区分OBJ文件和库文件)。如果GCC执行链接操作，这些OBJ文件将成为链接器的输入文件。

比如上面的“gcc -o test main.o sub.o”中，main.o、sub.o就是输入的文件。

（2）-llibrary

链接名为library的库文件。

链接器在标准搜索目录中寻找这个库文件，库文件的真正名字是`liblibrary.a'。搜索目录除了一些系统标准目录外，还包括用户以`-L'选项指定的路径。一般说来用这个方法找到的文件是库文件──即由OBJ文件组成的归档文件(archive file)。链接器处理归档文件的方法是：扫描归档文件，寻找某些成员，这些成员的符号目前已被引用，不过还没有被定义。但是，如果链接器找到普通的OBJ文件，而不是库文件，就把这个OBJ文件按平常方式链接进来。指定`-l'选项和指定文件名的唯一区别是，`-l’选项用`lib'和`.a'把library包裹起来，而且搜索一些目录。

即使不明显地使用-llibrary选项，一些默认的库也被链接进去，可以使用-v选项看到这点：

$ gcc -v -o test main.o sub.o

输出的信息如下：

/usr/lib/gcc-lib/i386-redhat-linux/3.2.2/collect2 --eh-frame-hdr -m elf\_i386 -dynamic-linker /lib/ld-linux.so.2

-o test

/usr/lib/gcc-lib/i386-redhat-linux/3.2.2/../../../crt1.o /usr/lib/gcc-lib/i386-redhat-linux/3.2.2/../../../crti.o

/usr/lib/gcc-lib/i386-redhat-linux/3.2.2/crtbegin.o

-L/usr/lib/gcc-lib/i386-redhat-linux/3.2.2

-L/usr/lib/gcc-lib/i386-redhat-linux/3.2.2/../../..

main.o

sub.o

-lgcc -lgcc\_eh -lc -lgcc -lgcc\_eh

/usr/lib/gcc-lib/i386-redhat-linux/3.2.2/crtend.o

/usr/lib/gcc-lib/i386-redhat-linux/3.2.2/../../../crtn.o

可以看见，除了main.o、sub.o两个文件外，还链接了启动文件crt1.o、crti.o、crtend.o 、crtn.o，还有一些库文件(-lgcc -lgcc\_eh -lc -lgcc -lgcc\_eh)。

（3）-nostartfiles

不链接系统标准启动文件，而标准库文件仍然正常使用：

$ gcc -v -nostartfiles -o test main.o sub.o

输出的信息如下：

/usr/lib/gcc-lib/i386-redhat-linux/3.2.2/collect2 --eh-frame-hdr -m elf\_i386 -dynamic-linker

/lib/ld-linux.so.2

-o test

-L/usr/lib/gcc-lib/i386-redhat-linux/3.2.2

-L/usr/lib/gcc-lib/i386-redhat-linux/3.2.2/../../..

main.o

sub.o

-lgcc -lgcc\_eh -lc -lgcc -lgcc\_eh

/usr/bin/ld: warning: cannot find entry symbol \_start; defaulting to 08048184

可以看见启动文件crt1.o、crti.o、crtend.o 、crtn.o没有被链接进去。需要说明的是，对于一般应用程序，这些启动文件是必需的，这里仅是作为例子(这样编译出来的test文件无法执行)。在编译bootloader、内核时，将用到这个选项。

（4）-nostdlib

不链接系统标准启动文件和标准库文件，只把指定的文件传递给链接器。这个选项常用于编译内核、bootloader等程序，它们不需要启动文件、标准库文件。

仍以options程序作为例子：

$ gcc -v -nostdlib -o test main.o sub.o

输出的信息如下：

/usr/lib/gcc-lib/i386-redhat-linux/3.2.2/collect2 --eh-frame-hdr -m elf\_i386 -dynamic-linker /lib/ld-linux.so.2

-o test

-L/usr/lib/gcc-lib/i386-redhat-linux/3.2.2

-L/usr/lib/gcc-lib/i386-redhat-linux/3.2.2/../../..

main.o

sub.o

/usr/bin/ld: warning: cannot find entry symbol \_start; defaulting to 08048074

main.o(.text+0x19): In function `main':

: undefined reference to `printf'

sub.o(.text+0xf): In function `sub\_fun':

: undefined reference to `printf'

collect2: ld returned 1 exit status

出现了一大堆错误，因为printf等函数是在库文件中实现的。在编译bootloader、内核时，用到这个选项──它们用到的很多函数是自包含的。

（5）-static

在支持动态链接(dynamic linking)的系统上，阻止链接共享库。

仍以options程序为例，是否使用-static选项编译出来的可执行程序大小相差巨大：

$ gcc -c -o main.c

$ gcc -c -o sub.c

$ gcc -o test main.o sub.o

$ gcc -o test\_static main.o sub.o –static

$ ls -l test test\_static

-rwxr-xr-x 1 book book 6591 Jan 16 23:51 test

-rwxr-xr-x 1 book book 546479 Jan 16 23:51 test\_static

其中test文件为6591字节，test\_static文件为546479字节。当不使用-static编译文件时，程序执行前要链接共享库文件，所以还需要将共享库文件放入文件系统中。

（6）-shared

生成一个共享OBJ文件，它可以和其他OBJ文件链接产生可执行文件。只有部分系统支持该选项。

当不想以源代码发布程序时，可以使用-shared选项生成库文件，比如对于options程序，可以如下制作库文件：

$ gcc -c -o sub.o sub.c

$ gcc -shared -o libsub.so sub.o

以后要使用sub.c中的函数sub\_fun时，在链接程序时，指定引脚libsub.so即可，比如：

$ gcc -o test main.o -lsub -L /libsub.so/所在的目录/

可以将多个文件制作为一个库文件，比如：

$ gcc -shared -o libsub.so sub.o sub2.o sub3.o

（7）-Xlinker option

把选项option传递给链接器。可以用来传递系统特定的链接选项，GCC无法识别这些选项。如果需要传递携带参数的选项，必须使用两次`-Xlinker'，一次传递选项，另一次传递其参数。例如，如果传递`-assert definitions'，要成`-Xlinker -assert -Xlinker definitions'，而不能写成`-Xlinker "-assert definitions"'，因为这样会把整个字符串当做一个参数传递，显然这不是链接器期待的。

（8）-Wl,option

把选项option传递给链接器。如果option中含有逗号，就在逗号处分割成多个选项。链接器通常是通过gcc、arm-linux-gcc等命令间接启动的，要向它传入参数时，参数前面加上`-Wl,’。

（9）-u symbol

使链接器认为取消了symbol的符号定义，从而链接库模块以取得定义。可以使用多个 `-u'选项，各自跟上不同的符号，使得链接器调入附加的库模块。

### 2.7 目录选项(Directory Option)

下列选项指定搜索路径，用于查找头文件，库文件，或编译器的某些成员。

（1）-Idir

在头文件的搜索路径列表中添加dir 目录。

头文件的搜索方法为：如果以“#include < >”包含文件，则只在标准库目录开始搜索(包括使用-Idir选项定义的目录)；如果以“#include “ ””包含文件，则先从用户的工作目录开始搜索，再搜索标准库目录。

（2）-I-

任何在`-I-'前面用`-I'选项指定的搜索路径只适用于`#include "file"'这种情况；它们不能用来搜索`#include <file>'包含的头文件。如果用`-I'选项指定的搜索路径位于`-I-'选项后面，就可以在这些路径中搜索所有的`#include'指令(一般说来-I选项就是这么用的)。还有，`-I-'选项能够阻止当前目录(存放当前输入文件的地方)成为搜索`#include "file"'的第一选择。

`-I-'不影响使用系统标准目录，因此，`-I-'和`-nostdinc'是不同的选项。

（3）-Ldir

在`-l'选项的搜索路径列表中添加dir目录。

仍使用options程序进行说明，先制作库文件libsub.a：

$ gcc -c -o sub.o sub.c

$ gcc -shared -o libsub.a sub.o

编译main.c：

$ gcc -c -o main.o main.c

链接程序，下面的指令将出错，提示找不到库文件：

$ gcc -o test main.o -lsub

/usr/bin/ld: cannot find -lsub

collect2: ld returned 1 exit status

可以使用-Ldir选项将当前目录加入搜索路径，如下则链接成功：

$ gcc -L. -o test main.o -lsub

（4）-Bprefix

这个选项指出在何处寻找可执行文件，库文件，以及编译器自己的数据文件。编译器驱动程序需要使用某些工具，比如：`cpp'，`cc1' (或C++的`cc1plus')，`as'和`ld'。它把prefix当作欲执行的工具的前缀，这个前缀可以用来指定目录，也可以用来修改工具名字。

对于要运行的工具，编译器驱动程序首先试着加上`-B'前缀(如果存在)，如果没有找到文件，或没有指定`-B'选项，编译器接着会试验两个标准前缀`/usr/lib/gcc/'和`/usr/local/lib/gcc-lib/'。如果仍然没能够找到所需文件，编译器就在`PATH'环境变量指定的路径中寻找没加任何前缀的文件名。如果有需要，运行时(run-time)支持文件`libgcc.a'也在`-B'前缀的搜索范围之内。如果这里没有找到，就在上面提到的两个标准前缀中寻找，仅此而已。如果上述方法没有找到这个文件，就不链接它了。多数情况的多数机器上，`libgcc.a'并非必不可少。

可以通过环境变量GCC\_EXEC\_PREFIX获得近似的效果；如果定义了这个变量，其值就和上面说的一样被用作前缀。如果同时指定了`-B'选项和GCC\_EXEC\_PREFIX变量，编译器首先使用`-B'选项，然后才尝试环境变量值。

### 2.8 ld/objdump/objcopy选项

我们在开发APP时，一般不需要直接调用这3个命令；在开发裸机、bootloader时，或是调试APP时会涉及，到时再讲。

## 3. Makefile的使用

在Linux中使用make命令来编译程序，特别是大程序；而make命令所执行的动作依赖于Makefile文件。最简单的Makefile文件如下：

hello: hello.c

gcc -o hello hello.c

clean:

rm -f hello

将上述4行存为Makefile文件(注意必须以Tab键缩进第2、4行，不能以空格键缩进)，放入01\_hello目录下，然后直接执行make命令即可编译程序，执行“make clean”即可清除编译出来的结果。

make命令根据文件更新的时间戳来决定哪些文件需要重新编译，这使得可以避免编译已经编译过的、没有变化的程序，可以大大提高编译效率。

要想完整地了解Makefile的规则，请参考《GNU Make 使用手册》，以下仅粗略介绍。

### 3.0 配套视频内容大纲

#### 3.0.1 Makefile规则与示例

参考文档：gunmake.htm

##### ① 为什么需要Makefile

怎么高效地编译程序？

想达到什么样的效果？请参考Visual Studio：修改源文件或头文件，只需要重新编译牵涉到的文件，就可以重新生成APP

##### ② Makefile其实挺简单

一个简单的Makefile文件包含一系列的“规则”，其样式如下：

目标(target)…: 依赖(prerequiries)…

<tab>命令(command)

如果“依赖文件”比“目标文件”更加新，那么执行“命令”来重新生成“目标文件”。

命令被执行的2个条件：依赖文件比目标文件新，或是 目标文件还没生成。

##### ③ 先介绍Makefile的2个函数

A. $(foreach var,list,text)

简单地说，就是 for each var in list, change it to text。

对list中的每一个元素，取出来赋给var，然后把var改为text所描述的形式。

例子：

objs := a.o b.o

dep\_files := $(foreach f, $(objs), .$(f).d) // 最终 dep\_files := .a.o.d .b.o.d

B. $(wildcard pattern)

pattern所列出的文件是否存在，把存在的文件都列出来。

例子：

src\_files := $( wildcard \*.c) // 最终 src\_files中列出了当前目录下的所有.c文件

##### ④ 一步一步完善Makefile

第1个Makefile，简单粗暴，效率低：

test : main.c sub.c sub.h

gcc -o test main.c sub.c

第2个Makefile，效率高，相似规则太多太啰嗦，不支持检测头文件：

test : main.o sub.o

gcc -o test main.o sub.o

main.o : main.c

gcc -c -o main.o main.c

sub.o : sub.c

gcc -c -o sub.o sub.c

clean:

rm \*.o test -f

第3个Makefile，效率高，精炼，不支持检测头文件：

test : main.o sub.o

gcc -o test main.o sub.o

%.o : %.c

gcc -c -o $@ $<

clean:

rm \*.o test -f

第4个Makefile，效率高，精炼，支持检测头文件(但是需要手工添加头文件规则)：

test : main.o sub.o

gcc -o test main.o sub.o

%.o : %.c

gcc -c -o $@ $<

sub.o : sub.h

clean:

rm \*.o test -f

第5个Makefile，效率高，精炼，支持自动检测头文件：

objs := main.o sub.o

test : $(objs)

gcc -o test $^

# 需要判断是否存在依赖文件

# .main.o.d .sub.o.d

dep\_files := $(foreach f, $(objs), .$(f).d)

dep\_files := $(wildcard $(dep\_files))

# 把依赖文件包含进来

ifneq ($(dep\_files),)

include $(dep\_files)

endif

%.o : %.c

gcc -Wp,-MD,.$@.d -c -o $@ $<

clean:

rm \*.o test -f

distclean:

rm $(dep\_files) \*.o test -f

#### 3.0.2 通用Makefile的使用

我参考Linux内核的Makefile编写了一个通用的Makefile，它可以用来编译应用程序：

① 支持多个目录、多层目录、多个文件；

② 支持给所有文件设置编译选项；

③ 支持给某个目录设置编译选项；

④ 支持给某个文件单独设置编译选项；

⑤ 简单、好用。

使用git下载本教程的文档后，下列目录中就有说明和示例：

01\_all\_series\_quickstart\04\_快速入门(正式开始)\

01\_嵌入式Linux应用开发基础知识\source\05\_general\_Makefile

#### 3.0.3 通用Makefile的解析

##### ① 零星知识点

###### A. make命令的使用：

执行make命令时，它会去当前目录下查找名为“Makefile”的文件，并根据它的指示去执行操作，生成第一个目标。

我们可以使用“-f”选项指定文件，不再使用名为“Makefile”的文件，比如：

make -f Makefile.build

我们可以使用“-C”选项指定目录，切换到其他目录里去，比如：

make -C a/ -f Makefile.build

我们可以指定目标，不再默认生成第一个目标：

make -C a/ -f Makefile.build other\_target

###### B. 即时变量、延时变量：

变量的定义语法形式如下：

A = xxx // 延时变量

B ?= xxx // 延时变量，只有第一次定义时赋值才成功；如果曾定义过，此赋值无效

C := xxx // 立即变量

D += yyy // 如果D在前面是连时变量，那么现在它还是延时变量；

// 如果D在前面是立即变量，那么现在它还是立即变量

在GNU make中对变量的赋值有两种方式：延时变量、立即变量。

上图中，变量A是延时变量，它的值在使用时才展开、才确定。比如：

A = $@

test:

@echo $A

上述Makefile中，变量A的值在执行时才确定，它等于test，是延时变量。

如果使用“A := $@”，这是立即变量，这时$@为空，所以A的值就是空。

###### C. 变量的导出(export)：

在编译程序时，我们会不断地使用“make -C dir”切换到其他目录，执行其他目录里的Makefile。如果想让某个变量的值在所有目录中都可见，要把它export出来。

比如“CC = $(CROSS\_COMPILE)gcc”，这个CC变量表示编译器，在整个过程中都是一样的。定义它之后，要使用“export CC”把它导出来。

###### D. Makefile中可以使用shell命令：

比如：

TOPDIR := $(shell pwd)

这是个立即变量，TOPDIR等于shell命令pwd的结果。

###### E. 在Makefile中怎么放置第1个目标：

执行make命令时如果不指定目标，那么它默认是去生成第1个目标。

所以“第1个目标”，位置很重要。有时候不太方便把第1个目标完整地放在文件前面，这时可以在文件的前面直接放置目标，在后面再完善它的依赖与命令。比如：

First\_target: // 这句话放在前面

．．．． // 其他代码，比如include其他文件得到后面的xxx变量

First\_target : $(xxx) $(yyy) // 在文件的后面再来完善

command

###### F. 假想目标：

我们的Makefile中有这样的目标：

clean:

rm -f $(shell find -name "\*.o")

rm -f $(TARGET)

如果当前目录下恰好有名为“clean”的文件，那么执行“make clean”时它就不会执行那些删除命令。

这时我们需要把“clean”这个目标，设置为“假想目标”，这样可以确保执行“make clean”时那些删除命令肯定可以得到执行。

使用下面的语句把“clean”设置为假想目标：

.PHONY : clean

###### G. 常用的函数：

i. $(foreach var,list,text)

简单地说，就是 for each var in list, change it to text。

对list中的每一个元素，取出来赋给var，然后把var改为text所描述的形式。

例子：

objs := a.o b.o

dep\_files := $(foreach f, $(objs), .$(f).d) // 最终 dep\_files := .a.o.d .b.o.d

ii. $(wildcard pattern)

pattern所列出的文件是否存在，把存在的文件都列出来。

例子：

src\_files := $( wildcard \*.c) // 最终 src\_files中列出了当前目录下的所有.c文件

iii. $(filter pattern...,text)

把text中符合pattern格式的内容，filter(过滤)出来、留下来。

例子：

obj-y := a.o b.o c/ d/

DIR := $(filter %/, $(obj-y)) //结果为：c/ d/

iv. $(filter-out pattern...,text)

把text中符合pattern格式的内容，filter-out(过滤)出来、扔掉。

例子：

obj-y := a.o b.o c/ d/

DIR := $(filter-out %/, $(obj-y)) //结果为：a.o b.o

vi. $(patsubst *pattern*,*replacement*,*text*)

寻找`text’中符合格式`pattern’的字，用`replacement’替换它们。`pattern’和`replacement’中可以使用通配符。

比如：

subdir-y := c/ d/

subdir-y := $(patsubst %/, %, $(subdir-y)) // 结果为：c d

##### ② 通用Makefile的设计思想

###### A. 在Makefile文件中确定要编译的文件、目录，比如：

obj-y += main.o

obj-y += a/

“Makefile”文件总是被“Makefile.build”包含的。

###### B. 在Makefile.build中设置编译规则，有3条编译规则：

i. 怎么编译子目录？ 进入子目录编译：

$(subdir-y):

make -C $@ -f $(TOPDIR)/Makefile.build

ii. 怎么编译当前目录中的文件？

%.o : %.c

$(CC) $(CFLAGS) $(EXTRA\_CFLAGS) $(CFLAGS\_$@) -Wp,-MD,$(dep\_file) -c -o $@ $<

iii. 当前目录下的.o和子目录下的built-in.o要打包起来：

built-in.o : $(cur\_objs) $(subdir\_objs)

$(LD) -r -o $@ $^

###### C. 顶层Makefile中把顶层目录的built-in.o链接成APP：

$(TARGET) : built-in.o

$(CC) $(LDFLAGS) -o $(TARGET) built-in.o

##### ③ 情景演绎

### 3.1 Makefile规则

一个简单的Makefile文件包含一系列的“规则”，其样式如下：

目标(target)…: 依赖(prerequiries)…

<tab>命令(command)

目标(target)通常是要生成的文件的名称，可以是可执行文件或OBJ文件，也可以是一个执行的动作名称，诸如`clean’。

依赖是用来产生目标的材料(比如源文件)，一个目标经常有几个依赖。

命令是生成目标时执行的动作，一个规则可以含有几个命令，每个命令占一行。

**注意**：每个命令行前面必须是一个Tab字符，即命令行第一个字符是Tab。这是容易出错的地方。

通常，如果一个依赖发生了变化，就需要规则调用命令以更新或创建目标。但是并非所有的目标都有依赖，例如，目标“clern”的作用是清除文件，它没有依赖。

规则一般是用于解释怎样和何时重建目标。make首先调用命令处理依赖，进而才能创建或更新目标。当然，一个规则也可以是用于解释怎样和何时执行一个动作，即打印提示信息。

一个Makefile文件可以包含规则以外的其他文本，但一个简单的Makefile文件仅仅需要包含规则。虽然真正的规则比这里展示的例子复杂，但格式是完全一样的。

对于上面的Makefile，执行“make”命令时，仅当hello.c文件比hello文件新，才会执行命令“arm-linux-gcc –o hello hello.c”生成可执行文件hello；如果还没有hello文件，这个命令也会执行。

运行“make clean”时，由于目标clean没有依赖，它的命令“rm -f hello”将被强制执行。

### 3.2 Makefile文件里的赋值方法

变量的定义语法形式如下：

immediate = deferred

immediate ?= deferred

immediate := immediate

immediate += deferred or immediate

define immediate

deferred

endef

在GNU make中对变量的赋值有两种方式：延时变量、立即变量。区别在于它们的定义方式和扩展时的方式不同，前者在这个变量使用时才扩展开，意即当真正使用时这个变量的值才确定；后者在定义时它的值就已经确定了。使用`=’，`?=’定义或使用define指令定义的变量是延时变量；使用`:=’定义的变量是立即变量。需要注意的一点是，`?=’仅仅在变量还没有定义的情况下有效，即`?=’被用来定义第一次出现的延时变量。

对于附加操作符`+=’，右边变量如果在前面使用（:=）定义为立即变量则它也是立即变量，否则均为延时变量。

### 3.3 Makefile常用函数

函数调用的格式如下：

$(function arguments)

这里`function’是函数名，`arguments’是该函数的参数。参数和函数名之间是用空格或Tab隔开，如果有多个参数，它们之间用逗号隔开。这些空格和逗号不是参数值的一部分。

内核的Makefile中用到大量的函数，现在介绍一些常用的。

#### 字符串替换和分析函数

（1）$(subst from,to,text)

在文本`text’中使用`to’替换每一处`from’。

比如：

$(subst ee,EE,feet on the street)

结果为‘fEEt on the street’。

（2）$(patsubst pattern,replacement,text)

寻找`text’中符合格式`pattern’的字，用`replacement’替换它们。`pattern’和`replacement’中可以使用通配符。

比如：

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

结果为：`x.c.o bar.o’。

（3）$(strip string)

去掉前导和结尾空格，并将中间的多个空格压缩为单个空格。

比如：

$(strip a b c )

结果为`a b c’。

（4）$(findstring find,in)

在字符串`in’中搜寻`find’，如果找到，则返回值是`find’，否则返回值为空。

比如：

$(findstring a,a b c)

$(findstring a,b c)

将分别产生值`a’和`’(空字符串)。

（5）$(filter pattern...,text)

返回在`text’中由空格隔开且匹配格式`pattern...’的字，去除不符合格式`pattern...’的字。

比如：

$(filter %.c %.s,foo.c bar.c baz.s ugh.h)

结果为`foo.c bar.c baz.s’。

（6）$(filter-out pattern...,text)

返回在`text’中由空格隔开且不匹配格式`pattern...’的字，去除符合格式`pattern...’的字。它是函数filter的反函数。

比如：

$(filter %.c %.s,foo.c bar.c baz.s ugh.h)

结果为`ugh.h’。

（7）$(sort list)

将‘list’中的字按字母顺序排序，并去掉重复的字。输出由单个空格隔开的字的列表。

比如：

$(sort foo bar lose)

返回值是‘bar foo lose’。

#### 文件名函数

（1）$(dir names...)

抽取‘names...’中每一个文件名的路径部分，文件名的路径部分包括从文件名的首字符到最后一个斜杠(含斜杠)之前的一切字符。

比如：

$(dir src/foo.c hacks)

结果为‘src/ ./’。

（2）$(notdir names...)

抽取‘names...’中每一个文件名中除路径部分外一切字符（真正的文件名）。

比如：

$(notdir src/foo.c hacks)

结果为‘foo.c hacks’。

（3）$(suffix names...)

抽取‘names...’中每一个文件名的后缀。

比如：

$(suffix src/foo.c src-1.0/bar.c hacks)

结果为‘.c .c’。

（4）$(basename names...)

抽取‘names...’中每一个文件名中除后缀外一切字符。

比如：

$(basename src/foo.c src-1.0/bar hacks)

结果为‘src/foo src-1.0/bar hacks’。

（5）$(addsuffix suffix,names...)

参数‘names...’是一系列的文件名，文件名之间用空格隔开；suffix是一个后缀名。将suffix(后缀)的值附加在每一个独立文件名的后面，完成后将文件名串联起来，它们之间用单个空格隔开。

比如：

$(addsuffix .c,foo bar)

结果为‘foo.c bar.c’。

（6）$(addprefix prefix,names...)

参数‘names’是一系列的文件名，文件名之间用空格隔开；prefix是一个前缀名。将preffix(前缀)的值附加在每一个独立文件名的前面，完成后将文件名串联起来，它们之间用单个空格隔开。

比如：

$(addprefix src/,foo bar)

结果为‘src/foo src/bar’。

（7）$(wildcard pattern)

参数‘pattern’是一个文件名格式，包含有通配符(通配符和shell中的用法一样)。函数wildcard的结果是一列和格式匹配的且真实存在的文件的名称，文件名之间用一个空格隔开。

比如若当前目录下有文件1.c、2.c、1.h、2.h，则：

c\_src := $(wildcard \*.c)

结果为‘1.c 2.c’。

#### 其他函数

（1）$(foreach var,list,text)

前两个参数，‘var’和‘list’将首先扩展，注意最后一个参数‘text’此时不扩展；接着，‘list’扩展所得的每个字，都赋给‘var’变量；然后‘text’引用该变量进行扩展，因此‘text’每次扩展都不相同。

函数的结果是由空格隔开的‘text’ 在‘list’中多次扩展后，得到的新‘list’，就是说：‘text’多次扩展的字串联起来，字与字之间由空格隔开，如此就产生了函数foreach的返回值。

下面是一个简单的例子，将变量‘files’的值设置为 ‘dirs’中的所有目录下的所有文件的列表：

dirs := a b c d

files := $(foreach dir,$(dirs),$(wildcard $(dir)/\*))

这里‘text’是‘$(wildcard $(dir)/\*)’，它的扩展过程如下：

1. 第一个赋给变量dir的值是`a’，扩展结果为‘$(wildcard a/\*)’；
2. 第二个赋给变量dir的值是`b’，扩展结果为‘$(wildcard b/\*)’；
3. 第三个赋给变量dir的值是`c’，扩展结果为‘$(wildcard c/\*)’；
4. 如此继续扩展。

这个例子和下面的例有共同的结果：

files := $(wildcard a/\* b/\* c/\* d/\*)

（2）$(if condition,then-part[,else-part])

首先把第一个参数‘condition’的前导空格、结尾空格去掉，然后扩展。如果扩展为非空字符串，则条件‘condition’为‘真’；如果扩展为空字符串，则条件‘condition’为‘假’。

如果条件‘condition’为‘真’,那么计算第二个参数‘then-part’的值，并将该值作为整个函数if的值。

如果条件‘condition’为‘假’,并且第三个参数存在，则计算第三个参数‘else-part’的值，并将该值作为整个函数if的值；如果第三个参数不存在，函数if将什么也不计算，返回空值。

注意：仅能计算‘then-part’和‘else-part’二者之一，不能同时计算。这样有可能产生副作用（例如函数shell的调用）。

（3）$(origin variable)

变量‘variable’是一个查询变量的名称，不是对该变量的引用。所以，不能采用‘$’和圆括号的格式书写该变量，当然，如果需要使用非常量的文件名，可以在文件名中使用变量引用。

函数origin的结果是一个字符串，该字符串变量是这样定义的：

‘undefined' ：如果变量‘variable’从没有定义；

‘default' ：变量‘variable’是缺省定义；

‘environment' ：变量‘variable’作为环境变量定义，选项‘-e’没有打开；

‘environment override' ：变量‘variable’作为环境变量定义，选项‘-e’已打开；

‘file' ：变量‘variable’在Makefile中定义；

‘command line' ：变量‘variable’在命令行中定义；

‘override' ：变量‘variable’在Makefile中用override指令定义；

‘automatic' ：变量‘variable’是自动变量

（4）$(shell command arguments)

函数shell是make与外部环境的通讯工具。函数shell的执行结果和在控制台上执行‘command arguments’的结果相似。不过如果‘command arguments’的结果含有换行符（和回车符），则在函数shell的返回结果中将把它们处理为单个空格，若返回结果最后是换行符（和回车符）则被去掉。

比如当前目录下有文件1.c、2.c、1.h、2.h，则：

c\_src := $(shell ls \*.c)

结果为‘1.c 2.c’。

《Makefile介绍》这小节可以在阅读内核、bootloader、应用程序的Makefile文件时，作为手册来查询。下面以options程序的Makefile作为例子进行演示，Makefile的内容如下：

File: Makefile

01 src := $(shell ls \*.c)

02 objs := $(patsubst %.c,%.o,$(src))

03

04 test: $(objs)

05 gcc -o $@ $^

06

07 %.o:%.c

08 gcc -c -o $@ $<

09

10 clean:

11 rm -f test \*.o

上述Makefile中$@、$^、$<称为自动变量。$@表示规则的目标文件名；$^表示所有依赖的名字，名字之间用空格隔开；$<表示第一个依赖的文件名。‘%’是通配符，它和一个字符串中任意个数的字符相匹配。

options目录下所有的文件为main.c，Makefile，sub.c和sub.h，下面一行行地分析：

① 第1行src变量的值为‘main.c sub.c’。

② 第2行objs变量的值为‘main.o sub.o’，是src变量经过patsubst函数处理后得到的。

③ 第4行实际上就是：

test : main.o sub.o

目标test的依赖有二：main.o和sub.o。开始时这两个文件还没有生成，在执行生成test的命令之前先将main.o、sub.o作为目标查找到合适的规则，以生成main.o、sub.o。

④ 第7、8行就是用来生成main.o、sub.o的规则：

对于main.o这个规则就是：

main.o:main.c

gcc -c -o main.o main.c

对于sub.o这个规则就是：

sub.o:sub.c

gcc -c -o sub.o sub.c

这样，test的依赖main.o和sub.o就生成了。

⑤ 第5行的命令在生成main.o、sub.o后得以执行。

在options目录下第一次执行make命令可以看到如下信息：

gcc -c -o main.o main.c

gcc -c -o sub.o sub.c

gcc -o test main.o sub.o

然后修改sub.c文件，再次执行make命令，可以看到如下信息：

gcc -c -o sub.o sub.c

gcc -o test main.o sub.o

可见，只编译了更新过的sub.c文件，对main.c文件不用再次编译，节省了编译的时间。