1. HelloWorld 背后没那么简单

1.1 交叉编译 hello.c

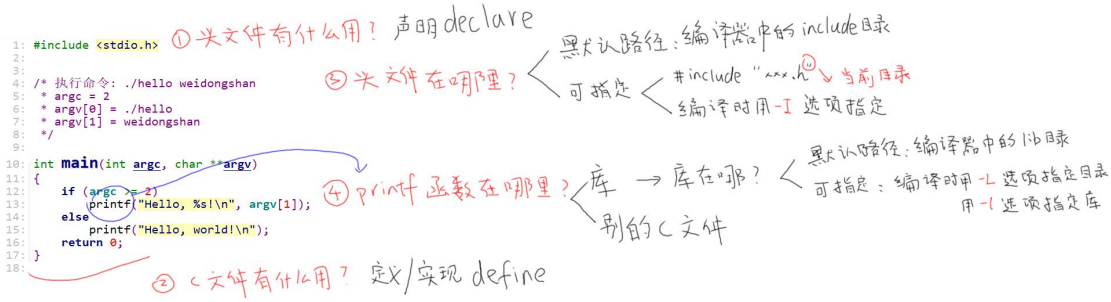
准备工作：

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

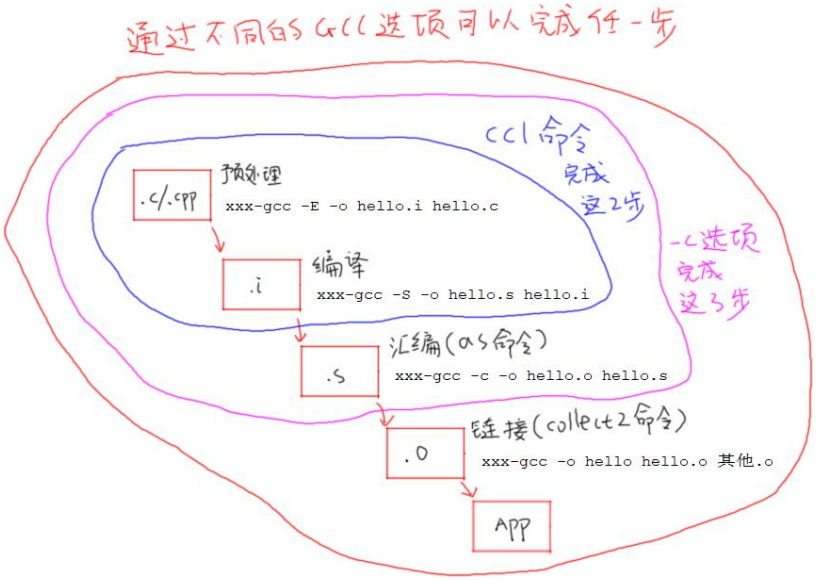
源文件需要经过编译才能生成可执行文件。在 Windows 下进行开发时，只需要点几个按钮即可编译，集成开发环境(比如 Visual studio)已经将各种编译工具的使用封装好了。Linux 下也有很优秀的集成开发工具，但是更多的时候是直接使用编译工具；即使使用集成开发工具，也需要掌握一些编译选项。

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

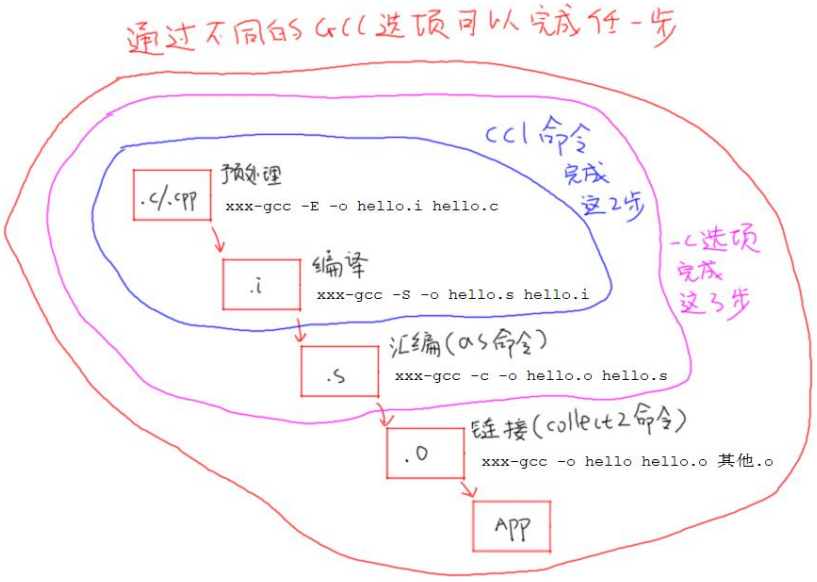
```
gcc -E main.c     // 查看预处理结果，比如头文件是哪个
gcc -E -dM main.c   > 1.txt   // 把所有的宏展开，存在 1.txt 里
gcc -Wp,-MD,abc.dep -c -o main.o main.c   // 生成依赖文件 abc.dep，后面 Makefile 会用
```

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`-I'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 在前面是延时变量，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 $@ $<
```

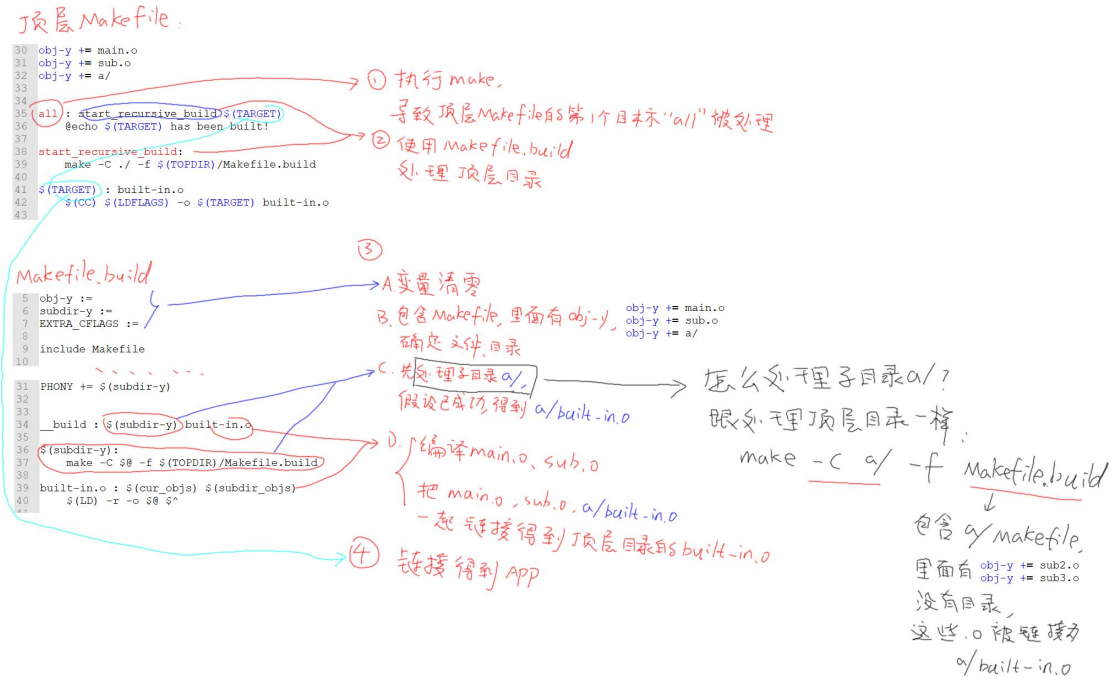
iii. 当前目录下的.o 和子目录下的 built-in.o 要打包起来:

```
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



本节下面的内容中不需要看，这是为写书《嵌入式 Linux 应用开发完全手册 升级版》而准备的。结合 3.0 节看视频就可以了。

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。

1. 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’。

2. 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’。

3. 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
```

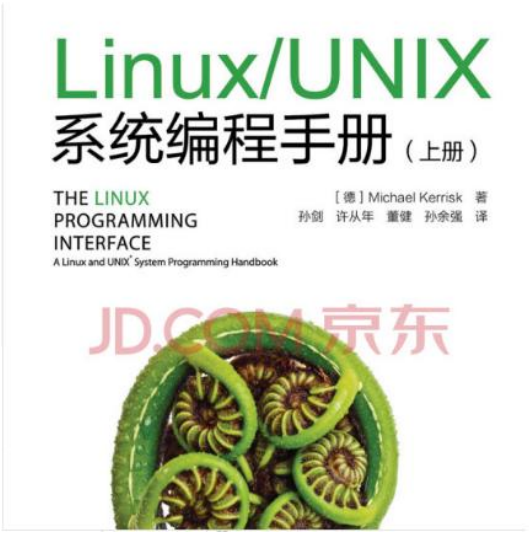
然后修改 sub.c 文件，再次执行 make 命令，可以看到如下信息：

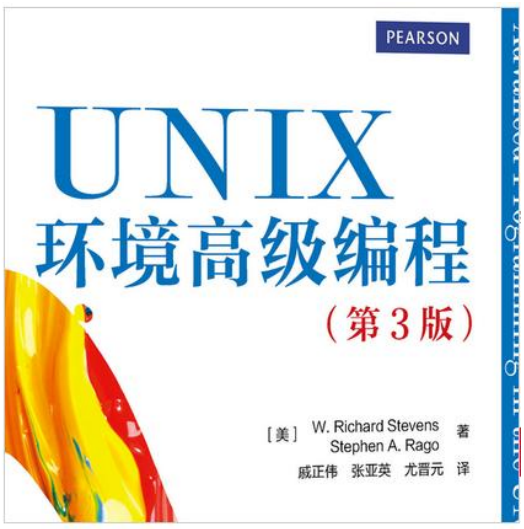
```
gcc -c -o sub.o sub.c
gcc -o test main.o sub.o
```

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。

4. 文件 IO

参考书：





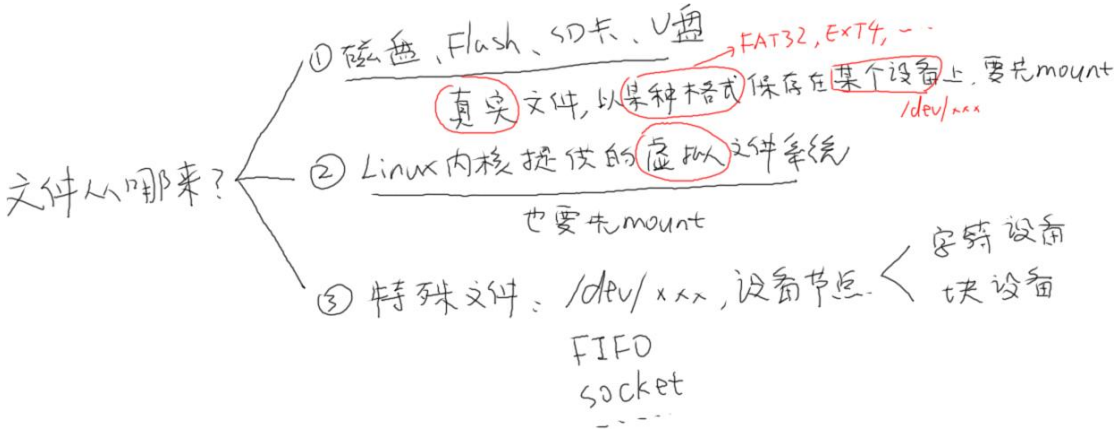
这 2 本书的内容类似，第一本对知识点有更细致的描述，适合初学者；第二本比较直接，一上来就是各种函数的介绍，适合当作字典，不懂时就去翻看一下。

做纯 Linux 应用的人，看这 2 本书就可以了，不需要学习我们的视频。我们的侧重于“嵌入式 Linux”。

在 Linux 系统中，一切都是“文件”：普通文件、驱动程序、网络通信等等。所有的操作，

都是通过“文件 IO”来操作的。所以，很有必要掌握文件操作的常用接口。

4.1 文件从哪来?



4.2 怎么访问文件?

4.2.1 通用的 IO 模型：open/read/write/lseek/close

4.2.2 不是通用的函数：ioctl/mmap

4.3 怎么知道这些函数的用法?

Linux 下有 3 大帮助方法：help、man、info。

想查看某个命令的用法时，比如查看 ls 命令的用法，可以执行：

```
ls  --help
```

help 只能用于查看某个命令的用法，而 man 手册既可以查看命令的用法，还可以查看函数的详细介绍等等。它含有 9 大分类，如下：

```
1   Executable programs or shell commands          // 命令
2   System calls (functions provided by the kernel)  // 系统调用，比如 man 2 open
3   Library calls (functions within program libraries)  // 函数库调用
4   Special files (usually found in /dev)           // 特殊文件，比如 man 4 tty
5   File formats and conventions eg /etc/passwd  // 文件格式和约定，比如 man 5 passwd
6   Games  // 游戏
7   Miscellaneous (including macro packages and conventions), e.g. man(7), groff(7) //杂项
8   System administration commands (usually only for root) // 系统管理命令
9   Kernel routines [Non standard]  // 内核例程
```

比如想查看 open 函数的用法时，可以直接执行“man open”，发现这不是想要内容时再执行“man 2 open”。

在 man 命令中可以及时按“h”查看帮助信息了解快捷键。常用的快捷键是：

```
f   往前翻一页
b   往后翻一页
/patten  往前搜
?patten  往后搜
```

就内容来说，info 手册比 man 手册编写得要更全面，但 man 手册使用起来更容易些。

以书来形容 info 手册和 man 手册的话，info 手册相当于一章，里面含有若干节，阅读时你需要掌握如果从这一节跳到下一节；而 man 手册只相当于一节，阅读起来当然更容易。

就个人而言，我很少使用 info 命令。

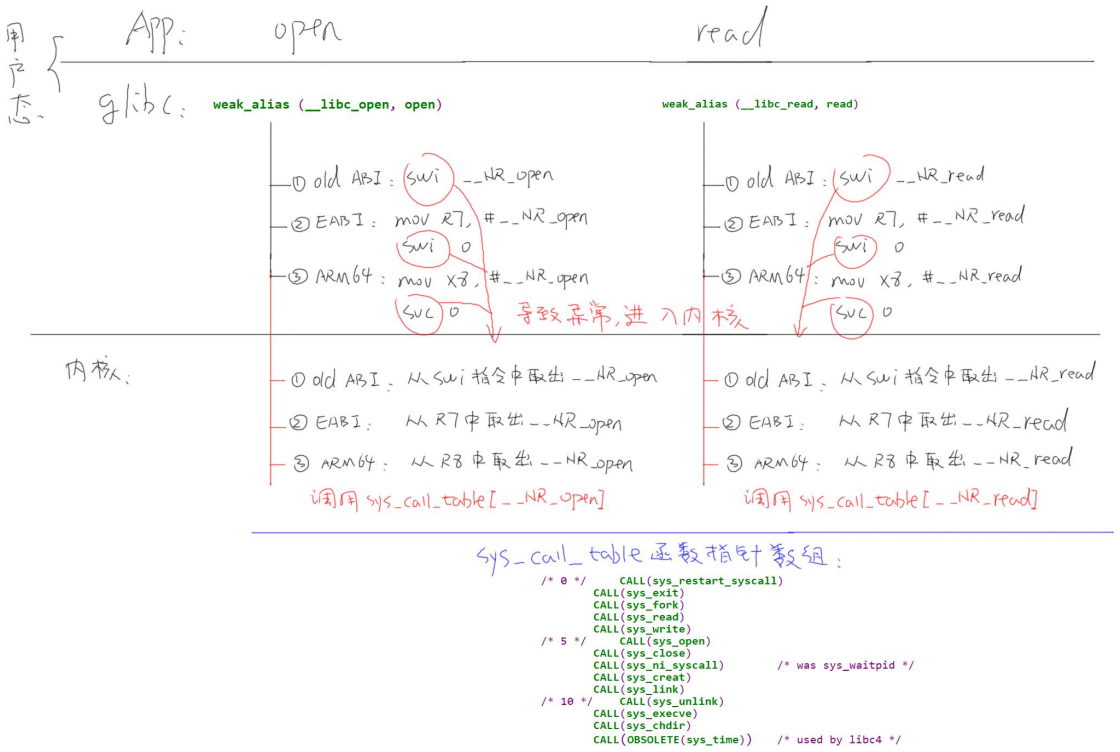
可以直接执行“info”命令后，输入“H”查看它的快捷键，在 info 手册中，某一节被称为“node”，常用的快捷键如下：

```
Up              Move up one line.
Down            Move down one line.
PgUp            Scroll backward one screenful.
PgDn            Scroll forward one screenful.
Home            Go to the beginning of this node.
End             Go to the end of this node.

TAB             Skip to the next hypertext link.
RET             Follow the hypertext link under the cursor.
l               Go back to the last node seen in this window.

[               Go to the previous node in the document.
]               Go to the next node in the document.
p               Go to the previous node on this level.
n               Go to the next node on this level.
u               Go up one level.
t               Go to the top node of this document.
d               Go to the main 'directory' node.
```

4.4 系统调用函数怎么进入内核?



4.5 内核的 sys_open、sys_read 会做什么?