

kmod-Linux内核模块工具

1. 项目背景分析

kmod 是为了能够操作 Linux 内核模块而推出的一系列工具集，这些操作包括插入 (insert)，删除 (remove)，列出 (list)，检查属性 (check properties) 和解决依赖关系 (dependencies)。

这些工具在底层都需要用到 libkmod 这个库，相关的源码也会跟着 kmod 项目一同发布。这个项目的目标是能够实现与在此之前 module-init-tools 项目所提供的工具兼容。

项目建立时间

从 git.kernel.org 上的 commit log 分析，该项目的建立时间是 2011-11-21。最初的项目是通过继承了 libabc 的框架开始逐步演变而来。2011-12-15 发布了 kmod 1 版本。

参考项目主页

<http://git.kernel.org/cgiit/utils/kernel/kmod/kmod.git>

项目创建者和维护者

创建者是 Lucas De Marchi。这个人就职于巴西 Brazil Campinas 的一家公司 ProFUSION Embedded Systems (该公司的主页 <http://profusion.mobi/>)，从他在 github 个人项目的帐号创建时间看是 2008年10月30号，应该是属于比较早期的 github 用户。

参考个人主页

<https://github.com/lucasdemarchi>

项目更新记录

项目最近一次提交 commit log 表明，该项目近期处于一个比较活跃的状态。从 2013-4-9 发布了最新的 kmod 13 版本之后，该项目几乎每隔1，2天有一次或多次提交。最近的一次提交是 2013-4-17，主要的贡献者仍然是 Lucas De Marchi。

参考提交记录

<http://git.kernel.org/cgiit/utils/kernel/kmod/kmod.git/log/>

项目版本情况

第一个可以下载的软件包 `kmod-1.tar.gz` 是2012-2-24 上传的，最新的软件包 `kmod-13.tar.gz` 是 2013-4-9 上传的。

目前 `kmod` 已经发布到了第13个版本，从项目 NEWS 中可以看到，项目从版本 1 就开始支持原来的 `insmod/rmmod/lsmmod/modprobe` 这几个常用命令，发展至今`libkmod` 库已经提供了100多个函数接口用于方便用户管理内核模块。

项目资源汇总

- 代码下载
<https://www.kernel.org/pub/linux/utils/kernel/kmod>
- 邮件列表
linux-modules@vger.kernel.org
- Git项目仓库
[git://git.kernel.org/pub/scm/utils/kernel/kmod/kmod.git](https://git.kernel.org/pub/scm/utils/kernel/kmod/kmod.git)
<https://git.kernel.org/pub/scm/utils/kernel/kmod/kmod.git>
- Gitweb页面
<http://git.kernel.org/?p=utils/kernel/kmod/kmod.git>

2. 项目技术分析

开发环境准备

- 首先需要安装如下的软件工具
 - GCC compiler 编译工具
 - GNU C library 标准C库
 - autoconf 自动化配置工具，可以生成项目所需的 makefile
 - shtool 一个兼容之前类似 `mkdir.sh/install.sh` 的shell脚本工具
 - libtool 制作可生成依赖关系的共享库，生成文件后缀名为 `.la`, `lo`
 - xsltproc 快速XSLT引擎，可以通过XSL层叠样式表把XML转换为其他格式，例如html/pdf
- 可选的依赖关系：
 - ZLIB library
 - LZMA library

编译和安装

```
$ sudo apt-get install autoconf
$ sudo apt-get install shtool
$ sudo apt-get install libtool
$ sudo apt-get install xsltproc

$ aclocal
$ autoconf
$ ./configure CFLAGS="-g -O2" --prefix=/usr --sysconfdir=/etc --
libdir=/usr/lib
$ make && make install
```

错误及解决

代码编译过程会出现不少问题，但都可以通过安装和配置逐一解决。现对编译过程中的问题做一总结：

1) autoconf 缺少环境变量文件

```
$ autoconf
configure.ac:10: error: possibly undefined macro: AM_INIT_AUTOMAKE
    If this token and others are legitimate, please use m4_pattern_allow.
    See the Autoconf documentation.
configure.ac:28: error: possibly undefined macro: AM_PROG_CC_C_O
configure.ac:89: error: possibly undefined macro: AM_CONDITIONAL
$ aclocal
```

通过 `aclocal` 命令生成，获取当前系统的环境变量，生成一个 `aclocal.m4` 文件。

2) configure 脚本执行时缺少 libtool 工具

```
$ ./configure CFLAGS="-g -O2" --prefix=/usr --sysconfdir=/etc --
libdir=/usr/lib
```

```
configure:      error:      cannot      find      install-  
sh, install.sh, or shtool in build-aux "./build-aux  
$ autoreconf -f -i -Wall,no-obsolete  
Can't exec "libtoolize": No such file or directory at /usr/bin/  
autoreconf line 196.  
Use of uninitialized value in pattern match (m//) at /usr/bin/  
autoreconf line 196.  
$ sudo apt-get install libtool
```

通过 `sudo apt-get` 安装解决。

3) configure 脚本执行缺少 `xsltproc` 命令

```
$ ./configure CFLAGS="-g -O2" --prefix=/usr --sysconfdir=/etc --  
libdir=/usr/lib  
configure: error: xsltproc command not found, try ./configure --  
disable-manpages  
$ sudo apt-get install xsltproc
```

通过 `sudo apt-get` 安装解决，成功之后，会在当前目录下生成 `Makefile` 文件。

编译过程

编译过程总体比较顺利，执行 `make` 和 `make install` 命令即可完成。

```
$ make  
make --no-print-directory all-recursive  
Making all in .  
  CC      libkmod/libkmod.lo  
  CC      libkmod/libkmod-list.lo  
  CC      libkmod/libkmod-config.lo  
  CC      libkmod/libkmod-index.lo  
  CC      libkmod/libkmod-module.lo  
  CC      libkmod/libkmod-file.lo
```

```

CC      libkmod/libkmod-elf.lo
CC      libkmod/libkmod-signature.lo
CC      libkmod/libkmod-hash.lo
CC      libkmod/libkmod-array.lo
CC      libkmod/libkmod-util.lo
CCLD    libkmod/libkmod-util.la
CCLD    libkmod/libkmod.la
CCLD    libkmod/libkmod-private.la
CC      tools/kmod.o
CC      tools/lsmmod.o
CC      tools/rmmmod.o
CC      tools/insmod.o
CC      tools/modinfo.o
CC      tools/modprobe.o
CC      tools/depmod.o
CC      tools/log.o
CC      tools/static-nodes.o
CCLD    tools/kmod
CCLD    tools/kmod-nolib
GEN      tools/insmod
GEN      tools/rmmmod
GEN      tools/lsmmod
GEN      tools/modprobe
GEN      tools/modinfo
GEN      tools/depmod
GEN      libkmod/libkmod.pc
Making all in libkmod/docs
make[2]: Nothing to be done for `all'.
Making all in man
GEN      depmod.d.5
GEN      modprobe.d.5
GEN      modules.dep.5
GEN      depmod.8
GEN      insmod.8
GEN      lsmod.8
GEN      rmmmod.8
GEN      modprobe.8
GEN      modinfo.8

```

由以上编译过程可知，项目主要架构分为2层，上层为 `tools` 目录下提供的各种工具（兼容之前的命令集，例如 `insmod/rmmmod`），下层为 `libkmod` 目录下生成的 `libkmod.la`，为上层工具提供所需要的库函数。

生成文件

```
$ ls tools/ -l | grep x
lrwxrwxrwx 1 akaedu akaedu      10 Apr 17 04:43 depmod -> kmod-
nolib
lrwxrwxrwx 1 akaedu akaedu      10 Apr 17 04:43 insmod -> kmod-
nolib
-rwxrwxr-x 1 akaedu akaedu    8385 Apr 17 04:43 kmod
-rwxrwxr-x 1 akaedu akaedu 488644 Apr 17 04:43 kmod-nolib
lrwxrwxrwx 1 akaedu akaedu      10 Apr 17 04:43 lsmod -> kmod-
nolib
lrwxrwxrwx 1 akaedu akaedu      10 Apr 17 04:43 modinfo -> kmod-
nolib
lrwxrwxrwx 1 akaedu akaedu      10 Apr 17 04:43 modprobe -> kmod-
nolib
lrwxrwxrwx 1 akaedu akaedu      10 Apr 17 04:43 rmmod -> kmod-
nolib
```

可以看出以上所有工具，均是 kmod-nolib 的软链接。实现了一个 kmod-nolib 程序，也就实现了之前的各种工具。这种实现思路，类似于嵌入式开发中的 busybox 项目，也是实现了一堆工具，但只有一个真正的可执行文件。

```
$ ls libkmod/ -l | grep lo
-rw-rw-r-- 1 akaedu akaedu    308 Apr 17 04:43 libkmod-array.lo
-rw-rw-r-- 1 akaedu akaedu    310 Apr 17 04:43 libkmod-config.lo
-rw-rw-r-- 1 akaedu akaedu    304 Apr 17 04:43 libkmod-elf.lo
-rw-rw-r-- 1 akaedu akaedu    306 Apr 17 04:43 libkmod-file.lo
-rw-rw-r-- 1 akaedu akaedu    306 Apr 17 04:43 libkmod-hash.lo
-rw-rw-r-- 1 akaedu akaedu    308 Apr 17 04:43 libkmod-index.lo
-rw-rw-r-- 1 akaedu akaedu    306 Apr 17 04:43 libkmod-list.lo
-rw-rw-r-- 1 akaedu akaedu    296 Apr 17 04:43 libkmod.lo
-rw-rw-r-- 1 akaedu akaedu    310 Apr 17 04:43 libkmod-module.lo
-rw-rw-r-- 1 akaedu akaedu   316 Apr 17 04:43 libkmod-signature.lo
-rw-rw-r-- 1 akaedu akaedu    306 Apr 17 04:43 libkmod-util.lo
```

上面所列的 lo 文件中，libkmod-module.lo 中包含了在整个库中，最靠近上层调用所需要用的接口函数。其他的 lo 文件基本上都是为 libkmod-

module.lo 所服务的，比较重要的例如 libkmod-elf, libkmod-file, libkmod-list 等。

```
$ ls libkmod/ -l | grep la
-rw-rw-r-- 1 akaedu akaedu   923 Apr 17 04:43 libkmod.la
-rw-rw-r-- 1 akaedu akaedu  893 Apr 17 04:43 libkmod-private.la
-rw-rw-r-- 1 akaedu akaedu   884 Apr 17 04:43 libkmod-util.la
```

最终提供的库文件是以 libkmod.la 的形式存在。

```
$ ls libkmod/ -l | grep pc
-rw-rw-r-- 1 akaedu akaedu   210 Apr 17 04:43 libkmod.pc
-rw-rw-r-- 1 akaedu akaedu   255 Apr 17 00:53 libkmod.pc.in
```

此文件暂时没看出有什么特殊的作用，只包含了一些对当前库的说明信息，是一个纯文本文件。

安装过程

```
$ make && make install
make --no-print-directory all-recursive
Making all in .
Making all in libkmod/docs
make[2]: Nothing to be done for `all'.
Making all in man
make[2]: Nothing to be done for `all'.
Making install in .
test -z "/usr/lib" || /bin/mkdir -p "/usr/lib"
  /bin/bash ./libtool      --mode=install /usr/bin/install -c
libkmod/libkmod.la '/usr/lib'
libtool: install: /usr/bin/install -c libkmod/.libs/libkmod.so.
2.2.3 /usr/lib/libkmod.so.2.2.3
/usr/bin/install: cannot create regular file `/usr/lib/
libkmod.so.2.2.3': Permission denied
```

```
make[2]: *** [install-libLTLIBRARIES] Error 1
make[1]: *** [install-am] Error 2
make: *** [install-recursive] Error 1
```

编译过程中，因为需要用到对 `/usr/bin` 目录的读写权限，因此需要用 `sudo` 来执行。

```
$ sudo make install
Making install in .
test -z "/usr/lib" || /bin/mkdir -p "/usr/lib"
  /bin/bash ./libtool      --mode=install /usr/bin/install -c
libkmod/libkmod.la '/usr/lib'
libtool: install: /usr/bin/install -c libkmod/.libs/libkmod.so.
2.2.3 /usr/lib/libkmod.so.2.2.3
libtool: install: (cd /usr/lib && { ln -s -f libkmod.so.
2.2.3 libkmod.so.2 || { rm -f libkmod.so.2 && ln -s libkmod.so.
2.2.3 libkmod.so.2; }; })
libtool: install: (cd /usr/lib && { ln -s -f libkmod.so.
2.2.3 libkmod.so || { rm -f libkmod.so && ln -s libkmod.so.
2.2.3 libkmod.so; }; })
libtool:  install:  /usr/bin/install -c libkmod/.libs/
libkmod.lai /usr/lib/libkmod.la
libtool: finish: PATH="/usr/local/sbin:/usr/local/bin:/usr/
sbin:/usr/bin:/sbin:/bin:/sbin" ldconfig -n /usr/lib
```

Libraries have been installed in:
 /usr/lib

If you ever happen to want to link against installed libraries in a given directory, LIBDIR, you must either use libtool, and specify the full pathname of the library, or use the ``-LLIBDIR'` flag during linking and do at least one of the following:

- add LIBDIR to the ``LD_LIBRARY_PATH'` environment variable during execution
- add LIBDIR to the ``LD_RUN_PATH'` environment variable during linking
- use the ``-Wl,-rpath -Wl,LIBDIR'` linker flag
- have your system administrator add LIBDIR to ``/etc/ld.so.conf'`

See any operating system documentation about shared libraries for more information, such as the ld(1) and ld.so(8) manual pages.

```
test -z "/usr/bin" || /bin/mkdir -p "/usr/bin"
/bin/bash ./libtool --mode=install /usr/bin/install -c tools/
kmod '/usr/bin'
libtool: install: /usr/bin/install -c tools/.libs/kmod /usr/
bin/kmod
make --no-print-directory install-exec-hook
if test "/usr/lib" != "/usr/lib"; then \
    /bin/mkdir -p /usr/lib && \
    so_img_name=$(readlink /usr/lib/libkmod.so) && \
    so_img_rel_target_prefix=$(echo /usr/lib | sed 's,\(^/
\\)\)[^/][^/]*,...,g') && \
    ln -sf $so_img_rel_target_prefix/usr/lib/$so_img_name /
usr/lib/libkmod.so && \
    mv /usr/lib/libkmod.so.* /usr/lib; \
fi
test -z "/usr/include" || /bin/mkdir -p "/usr/include"
/usr/bin/install -c -m 644 libkmod/libkmod.h '/usr/include'
test -z "/usr/lib/pkgconfig" || /bin/mkdir -p "/usr/lib/
pkgconfig"
/usr/bin/install -c -m 644 libkmod/libkmod.pc '/usr/lib/
pkgconfig'
Making install in libkmod/docs
make[2]: Nothing to be done for `install-exec-am'.
make[2]: Nothing to be done for `install-data-am'.
Making install in man
make[2]: Nothing to be done for `install-exec-am'.
test -z "/usr/share/man/man5" || /bin/mkdir -p "/usr/share/man/
man5"
/usr/bin/install -c -m 644 depmod.d.5 modprobe.d.5 modules.dep.
5 modules.dep.bin.5 '/usr/share/man/man5'
test -z "/usr/share/man/man8" || /bin/mkdir -p "/usr/share/man/
man8"
/usr/bin/install -c -m 644 depmod.8 insmod.8 lsmod.8 rmmmod.
8 modprobe.8 modinfo.8 '/usr/share/man/man8'
$ sudo make install
```

这个 make 和 make install 的过程，帮助我们理清了哪些文件参与最后的编译生成过程。特别是对于最后 make install 的执行分析，也让我们了解

了项目最终要实现的目标和生成的重要文件。以下将对这一过程展开详细分析。

安装文件

```
$ ls /usr/lib/libkmod.so
libkmod.so      libkmod.so.2      libkmod.so.2.2.3
$ ls /usr/lib/libkmod.so* -l
lrwxrwxrwx 1 root root      16 Apr 17 04:55 /usr/lib/
libkmod.so -> libkmod.so.2.2.3
lrwxrwxrwx 1 root root      16 Apr 17 04:55 /usr/lib/libkmod.so.
2 -> libkmod.so.2.2.3
-rwxr-xr-x 1 root root 313349 Apr 17 04:55 /usr/lib/libkmod.so.
2.2.3
```

libkmod.so 是一个软链接，安装在系统的 /usr/lib 目录下，链接的时候只需要指定 -lkmod 就可以。

```
$ ls /usr/lib/libkmod.l* -l
-rwxr-xr-x 1 root root 924 Apr 17 04:55 /usr/lib/libkmod.la

$ ls /usr/lib/libkmod.* -l
-rwxr-xr-x 1 root root 924 Apr 17 04:55 /usr/lib/libkmod.la
lrwxrwxrwx 1 root root      16 Apr 17 04:55 /usr/lib/
libkmod.so -> libkmod.so.2.2.3
lrwxrwxrwx 1 root root      16 Apr 17 04:55 /usr/lib/libkmod.so.
2 -> libkmod.so.2.2.3
-rwxr-xr-x 1 root root 313349 Apr 17 04:55 /usr/lib/libkmod.so.
2.2.3
```

真正起作用的 so 文件，也就是 libkmod 共享库的 real name 是 libkmod.so.2.2.3。

```
$ ls /usr/bin/kmod -l
```

```

-rwxr-xr-x 1 root root 233584 Apr 17 04:55 /usr/bin/kmod
$ file /usr/bin/kmod
/usr/bin/kmod: ELF 32-bit LSB executable, Intel 80386, version 1 (SYSV), dynamically linked,
Linux 2.6.24, BuildID[sha1]=0x9d4131d1eb78b1e1852cc5ad44f06417ae3caa3c, not stripped
$ kmod
missing command
kmod - Manage kernel modules: list, load, unload, etc
Usage:
    kmod [options] command [command_options]

Options:
    -V, --version      show version
    -h, --help         show this help

Commands:
    help              Show help message
    list              list currently loaded modules
                      static- nodes      outputs      the      static-
node information installed with the currently running kernel

kmod also handles gracefully if called from following symlinks:
    lsmod             compat lsmod command
    rmmod             compat rmmod command
    insmod            compat insmod command
    modinfo           compat modinfo command
    modprobe          compat modprobe command
    depmod            compat depmod command

```

kmod 是一个工具，可以实现内核模块的 list 和 打印输出已经被加载的内核模块的详细信息。

```

$ ls /usr/include/libkmod.h -l
-rw-r--r-- 1 root root 9429 Apr 17 04:55 /usr/include/libkmod.h
$

```

头文件是最重要的生成文件，会被之后所有调用 libkmod 库的上层应用所包含。一个文件就包含了所有需要用的函数接口声明，使用起来也非常方便。只不过这个文件中包含了较多的函数，互相之间不是平行的，内部是有上下层次关系的。

```

$ ls /usr/lib/pkgconfig/libkmod.pc -l
-rw-r--r-- 1 root root 210 Apr 17 04:55 /usr/lib/pkgconfig/
libkmod.pc
$ cat /usr/lib/pkgconfig/libkmod.pc
prefix=/usr
exec_prefix=/usr
libdir=/usr/lib
includedir=/usr/include

Name: libkmod
Description: Library to deal with kernel modules
Version: 13
Libs: -L${libdir} -lkmod
Libs.private:
Cflags: -I${includedir}
$

```

这个文件只是一个纯文本文件，里面包含了如上所列出的信息。

```

$ ls /usr/share/man/man5/ -l | grep "Apr 17"
-rw-r--r-- 1 root root 3969 Apr 17 04:55 depmod.d.5
-rw-r--r-- 1 root root 9306 Apr 17 2012 fonts-conf.5.gz
-rw-r--r-- 1 root root 1599 Apr 17 2012 initramfs.conf.5.gz
-rw-r--r-- 1 root root 8059 Apr 17 04:55 modprobe.d.5
-rw-r--r-- 1 root root 2494 Apr 17 04:55 modules.dep.5
-rw-r--r-- 1 root root 18 Apr 17 04:55 modules.dep.bin.5
-rw-r--r-- 1 root root 585 Apr 17 2012 update-initramfs.conf.
5.gz
$ ls /usr/share/man/man8/ -l | grep "Apr 17"
-rw-r--r-- 1 root root 6398 Apr 17 04:55 depmod.8
-rw-r--r-- 1 root root 5170 Apr 17 2012 initramfs-tools.8.gz
-rw-r--r-- 1 root root 2151 Apr 17 04:55 insmod.8
-rw-r--r-- 1 root root 526 Apr 17 2012 lsinitramfs.8.gz
-rw-r--r-- 1 root root 1839 Apr 17 04:55 lsmod.8
-rw-r--r-- 1 root root 1570 Apr 17 2012 mkinitramfs.8.gz
-rw-r--r-- 1 root root 4009 Apr 17 04:55 modinfo.8
-rw-r--r-- 1 root root 10618 Apr 17 04:55 modprobe.8
-rw-r--r-- 1 root root 3058 Apr 17 04:55 rmmmod.8

```

```
-rw-r--r-- 1 root root 1016 Apr 17 2012 update-initramfs.8.gz
```

以上所有文件，均为 man 手册所准备的，通过 `make install` 将安装到系统路径 `/usr/share/man/man8` 下。

功能简介

- `libkmod.so`
 - `kmod` 库的共享库文件，用于动态链接。
- `libkmod.la`
 - 用 `libtool` 工具生成的库文件，其实就是一个文本文件，记录同名共享库的相关信息
 - `libtool` 工具的作用，是在编译大型软件的过程中解决了库的依赖问题。
 - 特别是在交叉编译的条件下，解决动态链接器如何去寻找共享库的问题。
- `kmod`
 - 一个管理内核模块的工具，提供列表 `list`，加载 `load`，卸载 `unload` 等功能。
 - 目前的版本似乎只支持 `help`, `list`, `static_nodes` 三条命令
 - `help` 列出帮助信息
 - `list` 列出当前加载模块
 - `static-nodes` 输出当前内核加载的 `static-node` 信息，包括设备节点文件名，类型，主设备号和次设备号。
- `libkmod.h`
 - 使用 `libkmod` 库所需要包含的头文件，详细接口定义见下节--项目代码分析。
- `libkmod.pc`
 - 文本文件，包含了使用 `libkmod` 库所需要了解的一些信息，例如 安装目录，头文件所在目录，库名称，描述等。
- `man5` & `man8`

- 提供通过类似 `man 8 insmod` 命令来查看帮助的源文件 `inssmod.8`
- 提供通过类似 `man 5 depmod.d` 命令来查看帮助的源文件 `depmod.d.5`

3. 项目代码分析

源码目录结构

- tools
 - `insmod.c`
 - `rmmod.c`
 - `lsmod.c`
 - `depmod.c`
 - `modinfo.c`
 - `modprobe.c`
 - `kmod.c`
 - `kmod.h`
 - `log.c`
 - `log.h`
 - `static-nodes.c`
- libkmod
 - `COPYING`
 - `docs`
 - `libkmod-array.c`
 - `libkmod-array.h`
 - `libkmod.c`
 - `libkmod-config.c`
 - `libkmod-elf.c`
 - `libkmod-file.c`
 - `libkmod.h`
 - `libkmod-hash.c`
 - `libkmod-hash.h`
 - `libkmod-index.c`
 - `libkmod-index.h`

- libkmod-list.c
- libkmod-module.c
- libkmod.pc.in
- libkmod-private.h
- libkmod-signature.c
- libkmod.sym
- libkmod-util.c
- libkmod-util.h
- macro.h
- missing.h
- README
- testsuite
 - COPYING
 - delete_module.c
 - init_module.c
 - mkdir.c
 - mkdir.h
 - path.c
 - README
 - rootfs-pristine
 - stripped-module.h
 - test-alias.c
 - test-blacklist.c
 - test-dependencies.c
 - test-depmod.c
 - test-init.c
 - test-loaded.c
 - test-modinfo.c
 - test-modprobe.c
 - test-new-module.c
 - testsuite.c
 - testsuite.h
 - test-testsuite.c
 - uname.c

- m4
 - attributes.m4
- man
 - depmod.d.xml
 - depmod.xml
 - insmod.xml
 - lsmod.xml
 - Makefile.am
 - modinfo.xml
 - modprobe.d.xml
 - modprobe.xml
 - modules.dep.xml
 - rmmod.xml

头文件分析

```
$ cat /usr/include/libkmod.h

/*
 * libkmod - interface to kernel module operations
 *
 * Copyright (C) 2011-2013 ProFUSION embedded systems
 *
 * This library is free software; you can redistribute it and/or
 * modify it under the terms of the GNU Lesser General Public
 * License as published by the Free Software Foundation; either
 * version 2.1 of the License, or (at your option) any later version.
 *
 * This library is distributed in the hope that it will be useful,
 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU
 * Lesser General Public License for more details.
 *
 * You should have received a copy of the GNU Lesser General Public
 * License along with this library; if not, write to the Free Software
```



```

* Foundation, Inc., 51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA
*/

#pragma once
#ifndef _LIBKMOD_H_
#define _LIBKMOD_H_

#include <fcntl.h>
#include <stdarg.h>
#include <stdbool.h>
#include <inttypes.h>

#ifdef __cplusplus
extern "C" {
#endif

/*
 * kmod_ctx
 *
 * library user context - reads the config and system
 * environment, user variables, allows custom logging
 */
struct kmod_ctx;
struct kmod_ctx *kmod_new(const char *dirname, const char * const *config_paths);
struct kmod_ctx *kmod_ref(struct kmod_ctx *ctx);
struct kmod_ctx *kmod_unref(struct kmod_ctx *ctx);
void kmod_set_log_fn(struct kmod_ctx *ctx,
                    void (*log_fn)(void *log_data,
                                    int priority, const char *file, int line,
                                    const char *fn, const char *format,
                                    va_list args),
                    const void *data);
int kmod_get_log_priority(const struct kmod_ctx *ctx);
void kmod_set_log_priority(struct kmod_ctx *ctx, int priority);
void *kmod_get_userdata(const struct kmod_ctx *ctx);
void kmod_set_userdata(struct kmod_ctx *ctx, const void *userdata);

/*
 * Management of libkmod's resources
 */
int kmod_load_resources(struct kmod_ctx *ctx);

```

```

void kmod_unload_resources(struct kmod_ctx *ctx);

enum kmod_resources {
    KMOD_RESOURCES_OK = 0,
    KMOD_RESOURCES_MUST_RELOAD = 1,
    KMOD_RESOURCES_MUST_RECREATE = 2,
};
int kmod_validate_resources(struct kmod_ctx *ctx);

enum kmod_index {
    KMOD_INDEX_MODULES_DEP = 0,
    KMOD_INDEX_MODULES_ALIAS,
    KMOD_INDEX_MODULES_SYMBOL,
    KMOD_INDEX_MODULES_BUILTIN,
    /* Padding to make sure enum is not mapped to char */
    _KMOD_INDEX_PAD = (1 << 31),
};
int kmod_dump_index(struct kmod_ctx *ctx, enum kmod_index type, int fd);

/*
 * kmod_list
 *
 * access to kmod generated lists
 */
struct kmod_list;
struct kmod_list *kmod_list_next(const struct kmod_list *list,
                                const struct kmod_list *curr);
struct kmod_list *kmod_list_prev(const struct kmod_list *list,
                                const struct kmod_list *curr);
struct kmod_list *kmod_list_last(const struct kmod_list *list);

#define kmod_list_foreach(list_entry, first_entry) \
    for (list_entry = first_entry; \
         list_entry != NULL; \
         list_entry = kmod_list_next(first_entry, list_entry))

#define kmod_list_foreach_reverse(list_entry, first_entry) \
    for (list_entry = kmod_list_last(first_entry); \
         list_entry != NULL; \
         list_entry = kmod_list_prev(first_entry, list_entry))

/*

```

```

    * kmod_config_iter
    *
    * access to configuration lists - it allows to get each configuration's
    * key/value stored by kmod
    */
struct kmod_config_iter;
struct kmod_config_iter *kmod_config_get_blacklists(const struct kmod_ctx *ctx);
struct kmod_config_iter *kmod_config_get_install_commands(const struct kmod_ctx *ctx);
struct kmod_config_iter *kmod_config_get_remove_commands(const struct kmod_ctx *ctx);
struct kmod_config_iter *kmod_config_get_aliases(const struct kmod_ctx *ctx);
struct kmod_config_iter *kmod_config_get_options(const struct kmod_ctx *ctx);
struct kmod_config_iter *kmod_config_get_softdeps(const struct kmod_ctx *ctx);
const char *kmod_config_iter_get_key(const struct kmod_config_iter *iter);
const char *kmod_config_iter_get_value(const struct kmod_config_iter *iter);
bool kmod_config_iter_next(struct kmod_config_iter *iter);
void kmod_config_iter_free_iter(struct kmod_config_iter *iter);

/*
 * kmod_module
 *
 * Operate on kernel modules
 */
struct kmod_module;
int kmod_module_new_from_name(struct kmod_ctx *ctx, const char *name,
                             struct kmod_module **mod);
int kmod_module_new_from_path(struct kmod_ctx *ctx, const char *path,
                              struct kmod_module **mod);
int kmod_module_new_from_lookup(struct kmod_ctx *ctx, const char *given_alias,
                                struct kmod_list **list);
int kmod_module_new_from_loaded(struct kmod_ctx *ctx,
                                struct kmod_list **list);

struct kmod_module *kmod_module_ref(struct kmod_module *mod);
struct kmod_module *kmod_module_unref(struct kmod_module *mod);
int kmod_module_unref_list(struct kmod_list *list);
struct kmod_module *kmod_module_get_module(const struct kmod_list *entry);

/* Removal flags */
enum kmod_remove {
    KMOD_REMOVE_FORCE = O_TRUNC,
    KMOD_REMOVE_NOWAIT = O_NONBLOCK,

```

```

};

/* Insertion flags */
enum kmod_insert {
    KMOD_INSERT_FORCE_VERMAGIC = 0x1,
    KMOD_INSERT_FORCE_MODVERSION = 0x2,
};

/* Flags to kmod_module_probe_insert_module() */
enum kmod_probe {
    KMOD_PROBE_FORCE_VERMAGIC = 0x00001,
    KMOD_PROBE_FORCE_MODVERSION = 0x00002,
    KMOD_PROBE_IGNORE_COMMAND = 0x00004,
    KMOD_PROBE_IGNORE_LOADED = 0x00008,
    KMOD_PROBE_DRY_RUN = 0x00010,
    KMOD_PROBE_FAIL_ON_LOADED = 0x00020,

    /* codes below can be used in return value, too */
    KMOD_PROBE_APPLY_BLACKLIST_ALL = 0x10000,
    KMOD_PROBE_APPLY_BLACKLIST = 0x20000,
    KMOD_PROBE_APPLY_BLACKLIST_ALIAS_ONLY = 0x40000,
};

/* Flags to kmod_module_apply_filter() */
enum kmod_filter {
    KMOD_FILTER_BLACKLIST = 0x00001,
    KMOD_FILTER_BUILTIN = 0x00002,
};

int kmod_module_remove_module(struct kmod_module *mod, unsigned int flags);
int kmod_module_insert_module(struct kmod_module *mod, unsigned int flags,
                             const char *options);
int kmod_module_probe_insert_module(struct kmod_module *mod,
    unsigned int flags, const char *extra_options,
    int (*run_install)(struct kmod_module *m,
        const char *cmdline, void *data),
    const void *data,
    void (*print_action)
(struct kmod_module *m, bool install,
    const char *options));

```

```

const char *kmod_module_get_name(const struct kmod_module *mod);
const char *kmod_module_get_path(const struct kmod_module *mod);
const char *kmod_module_get_options(const struct kmod_module *mod);
const char *kmod_module_get_install_commands(const struct kmod_module *mod);
const char *kmod_module_get_remove_commands(const struct kmod_module *mod);
struct kmod_list *kmod_module_get_dependencies(const struct kmod_module *mod);
int kmod_module_get_softdeps(const struct kmod_module *mod,
                             struct kmod_list **pre, struct kmod_list **post);
int kmod_module_get_filtered_blacklist(const struct kmod_ctx *ctx,
                                       const struct kmod_list *input,
                                       struct kmod_list **output) __attribute__((deprecated));
int kmod_module_apply_filter(const struct kmod_ctx *ctx,
                             enum kmod_filter filter_type,
                             const struct kmod_list *input,
                             struct kmod_list **output);

/*
 * Information regarding "live information" from module's state, as returned
 * by kernel
 */

enum kmod_module_initstate {
    KMOD_MODULE_BUILTIN = 0,
    KMOD_MODULE_LIVE,
    KMOD_MODULE_COMING,
    KMOD_MODULE_GOING,
    /* Padding to make sure enum is not mapped to char */
    _KMOD_MODULE_PAD = (1 << 31),
};

const char *kmod_module_initstate_str(enum kmod_module_initstate state);
int kmod_module_get_initstate(const struct kmod_module *mod);
int kmod_module_get_refcnt(const struct kmod_module *mod);
struct kmod_list *kmod_module_get_holders(const struct kmod_module *mod);
struct kmod_list *kmod_module_get_sections(const struct kmod_module *mod);
const char *kmod_module_section_get_name(const struct kmod_list *entry);
unsigned long kmod_module_section_get_address(const struct kmod_list *entry);
void kmod_module_section_free_list(struct kmod_list *list);
long kmod_module_get_size(const struct kmod_module *mod);

```

```

/*
 * Information retrieved from ELF headers and sections
 */

int kmod_module_get_info(const struct kmod_module *mod, struct kmod_list **list);
const char *kmod_module_info_get_key(const struct kmod_list *entry);
const char *kmod_module_info_get_value(const struct kmod_list *entry);
void kmod_module_info_free_list(struct kmod_list *list);

int kmod_module_get_versions(const struct kmod_module *mod, struct kmod_list **list);
const char *kmod_module_version_get_symbol(const struct kmod_list *entry);
uint64_t kmod_module_version_get_crc(const struct kmod_list *entry);
void kmod_module_versions_free_list(struct kmod_list *list);

int kmod_module_get_symbols(const struct kmod_module *mod, struct kmod_list **list);
const char *kmod_module_symbol_get_symbol(const struct kmod_list *entry);
uint64_t kmod_module_symbol_get_crc(const struct kmod_list *entry);
void kmod_module_symbols_free_list(struct kmod_list *list);

enum kmod_symbol_bind {
    KMOD_SYMBOL_NONE = '\0',
    KMOD_SYMBOL_LOCAL = 'L',
    KMOD_SYMBOL_GLOBAL = 'G',
    KMOD_SYMBOL_WEAK = 'W',
    KMOD_SYMBOL_UNDEF = 'U'
};

int kmod_module_get_dependency_symbols(const struct kmod_module *mod, struct kmod_list **list);
const char *kmod_module_dependency_symbol_get_symbol(const struct kmod_list *entry);
int kmod_module_dependency_symbol_get_bind(const struct kmod_list *entry);
uint64_t kmod_module_dependency_symbol_get_crc(const struct kmod_list *entry);
void kmod_module_dependency_symbols_free_list(struct kmod_list *list);

#ifdef __cplusplus
} /* extern "C" */
#endif
#endif
$

```

- 头文件是 libkmod 项目所提供的用于包含的函数调用接口，上层编程者一般都需要 include 这个文件。

- 以 `insmod` 命令实现为例，以下函数接口将会用于这个命令实现过程中，典型的调用用法如下：

- `kmod_new()`
- `kmod_module_new_from_path()`
- `kmod_module_insert_module()`
- `kmod_module_unref()`

数据结构设计

- `struct kmod_ctx`
 - 该结构体出现在 `libkmod/libkmod.c` 文件中
 - 用于读取配置和系统环境参数，用户参数等

结构体定义

```
/**
 * kmod_ctx:
 *
 * Opaque object representing the library context.
 */
struct kmod_ctx {
    int refcount;
    int log_priority;
    void (*log_fn)(void *data,
                   int priority, const char *file, int line,
                   const char *fn, const char *format, va_list args);
    void *log_data;
    const void *userdata;
    char *dirname;
    struct kmod_config *config;
    struct hash *modules_by_name;
    struct index_mm *indexes[_KMOD_INDEX_MODULES_SIZE];
    unsigned long long indexes_stamp[_KMOD_INDEX_MODULES_SIZE];
};
```

- `struct kmod_list`

- 该结构体出现在 libkmod/libkmod-private.h 文件中
- 用于访问 kmod 产生的模块节点链表

结构体定义

```
struct list_node {
    struct list_node *next, *prev;
};

struct kmod_list {
    struct list_node node;
    void *data;
};
```

- struct kmod_config_iter
 - 该结构体出现在 libkmod/libkmod-config.c 文件中

结构体定义

```
struct kmod_config_iter {
    enum config_type type;
    bool intermediate;
    const struct kmod_list *list;
    const struct kmod_list *curr;
    void *data;
    const char *(*get_key)(const struct kmod_list *l);
    const char *(*get_value)(const struct kmod_list *l);
};
```

- struct kmod_module
 - 该结构体出现在 libkmod/libkmod-module.c 文件中

结构体定义


```

/**
 * SECTION:libkmod-module
 * @short_description: operate on kernel modules
 */

/**
 * kmod_module:
 *
 * Opaque object representing a module.
 */
struct kmod_module {
    struct kmod_ctx *ctx;
    char *hashkey;
    char *name;
    char *path;
    struct kmod_list *dep;
    char *options;
    const char *install_commands; /* owned by kmod_config */
    const char *remove_commands; /* owned by kmod_config */
    char *alias; /* only set if this module was created from an alias */
    struct kmod_file *file;
    int n_dep;
    int refcount;
    struct {
        bool dep : 1;
        bool options : 1;
        bool install_commands : 1;
        bool remove_commands : 1;
    } init;

    /*
     * private field used by kmod_module_get_probe_list() to detect
     * dependency loops
     */
    bool visited : 1;

    /*
     * set by kmod_module_get_probe_list: indicates for probe_insert()
     * whether the module's command and softdep should be ignored
     */
    bool ignorecmd : 1;

```

```

/*
 * if module was created by searching the modules.builtin file, this
 * is set. There's nothing much useful one can do with such a
 * "module", except knowing it's builtin.
 */
bool builtin : 1;
};

```

重要接口实现

- `kmod_module_insert_module()` in `libkmod/libkmod-module.c`
 - `kmod_module_get_path()`
 - `file = kmod_file_open()`
 - `kmod_file_get_direct()`
 - `size = kmod_file_get_size(file)`
 - `mem = kmod_file_get_contents(file)`
 - `kmod_elf_new()`
 - `kmod_elf_strip_section()`
 - `kmod_elf_get_memory()`
 - `init_module(mem, size, args)`
 - `kmod_elf_unref()`
 - `kmod_file_unref()`
- 对比 `module-init-tools` 的实现，可以发现代码的层次逻辑复杂不少
 - `realloc()`
 - `grab_file()`
 - * `open()`
 - * `malloc()`
 - * `read()`
 - * `close()`
 - `init_module(file, len, options)`
 - `free()`
- `kmod_module_remove_module` in `libkmod/libkmod-module.c`
 - `delete_module()`

kmod-11 详细分析报告

1. 架构分析

kmod-11 项目的整个技术架构分为3层。最上层是tools目录下的6个命令，中间是libkmod库所提供的各种编程接口，最下层是testsuite所包含的系统调用抽象层，便于在用户空间进行接口测试。

kmod-11 项目系统层次结构如图



Figure 1: kmod-11 项目系统结构层次图

下面按照这样的三层架构，按照应用层，库接口层，抽象层的顺序，依次分析。

应用层

应用层实现了6个常用的用户命令，分别是 insmod, rmmod, lsmod, mod-info, depmod, modprobe.

insmod 命令 该命令的功能是：向Linux内核中插入一个模块

```
$ ./kmod-11/tools/insmod -h

Usage:
  insmod [options] filename [args]
Options:
  -V, --version      show version
  -h, --help         show this help
```

rmmod 命令 该命令的功能是：删除内核中的模块

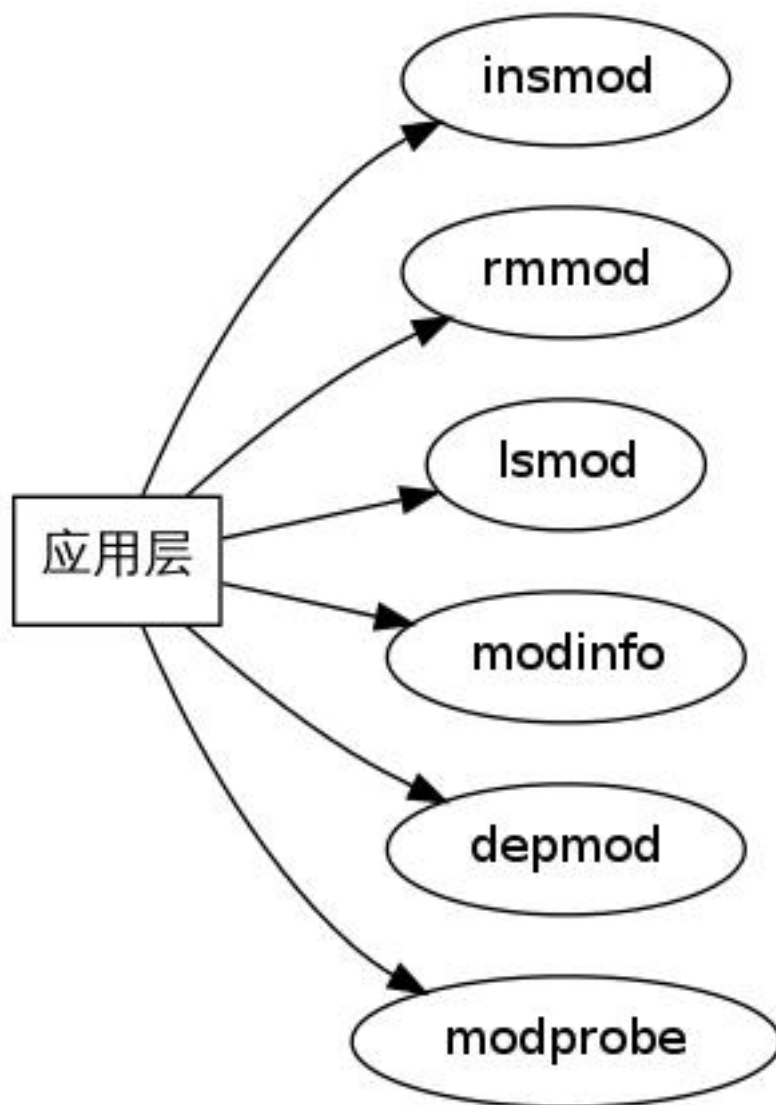


Figure 2: kmod-11 项目应用层结构图

```

$ ./kmod-11/tools/rmmod -h
Usage:
    rmmod [options] modulename ...
Options:
    -f, --force          forces a module unload and may crash your
                        machine. This requires Forced Module Removal
                        option in your kernel. DANGEROUS
    -s, --syslog          print to syslog, not stderr
    -v, --verbose         enables more messages
    -V, --version         show version
    -h, --help           show this help

```

lsmod 命令 该命令的功能是：列出内核已载入模块的状态

```

$ ./kmod-11/tools/lsmod -h
Usage: ./kmod-11/tools/lsmod

```

modinfo 命令 该命令的功能是：显示内核模块的信息

```

$ ./kmod-11/tools/modinfo -h
Usage:
    modinfo [options] filename [args]
Options:
    -a, --author          Print only 'author'
    -d, --description     Print only 'description'
    -l, --license         Print only 'license'
    -p, --parameters     Print only 'parm'
    -n, --filename        Print only 'filename'
    -O, --null            Use \0 instead of \n
    -F, --field=FIELD     Print only provided FIELD
    -k, --set-version=VERSION Use VERSION instead of `uname -r`
    -b, --basedir=DIR     Use DIR as filesystem root for /lib/modules

```

```
-V, --version          Show version
-h, --help             Show this help
$
```

depmod 命令 该命令的功能是：分析可加载模块的依赖性，生成modules.dep文件和映射文件。

```
$ ./kmod-11/tools/depmod -h
Usage:
  depmod -[aA] [options] [forced_version]

If no arguments (except options) are given, "depmod -a" is assumed

depmod will output a dependency list suitable for the modprobe utility.

Options:
  -a, --all              Probe all modules
  -A, --quick            Only does the work if there's a new module
  -e, --errsyms          Report not supplied symbols
  -n, --show             Write the dependency file on stdout only
  -P, --symbol-prefix    Architecture symbol prefix
  -C, --config=PATH      Read configuration from PATH
  -v, --verbose          Enable verbose mode
  -w, --warn             Warn on duplicates
  -V, --version          show version
  -h, --help            show this help

The following options are useful for people managing distributions:
  -b, --basedir=DIR      Use an image of a module tree.
  -F, --filesyms=FILE    Use the file instead of the
                        current kernel symbols.
  -E, --symvers=FILE     Use Module.symvers file to check
                        symbol versions.
$
```

modprobe 命令 该命令的功能是：Linux内核添加或者删除模块

```
$ ./kmod-11/tools/modprobe -h
```

Usage:

```
modprobe [options] [-i] [-b] modulename
modprobe [options] -a [-i] [-b] modulename [modulename...]
modprobe [options] -r [-i] modulename
modprobe [options] -r -a [-i] modulename [modulename...]
modprobe [options] -c
modprobe [options] --dump-modversions filename
```

Management Options:

-a, --all	Consider every non-argument to be a module name to be inserted or removed (-r)
-r, --remove	Remove modules instead of inserting
--remove-dependencies	Also remove modules depending on it
-R, --resolve-alias	Only lookup and print alias and exit
--first-time	Fail if module already inserted or removed
-i, --ignore-install	Ignore install commands
-i, --ignore-remove	Ignore remove commands
-b, --use-blacklist	Apply blacklist to resolved alias.
-f, --force	Force module insertion or removal. implies --force-modversions and --force-vermagic
--force-modversion	Ignore module's version
--force-vermagic	Ignore module's version magic

Query Options:

-D, --show-depends	Only print module dependencies and exit
-c, --showconfig	Print out known configuration and exit
-c, --show-config	Same as --showconfig
--show-modversions	Dump module symbol version and exit
--dump-modversions	Same as --show-modversions

General Options:

-n, --dry-run	Do not execute operations, just print out
-n, --show	Same as --dry-run
-C, --config=FILE	Use FILE instead of default search paths
-d, --dirname=DIR	Use DIR as filesystem root for /lib/modules
-S, --set-version=VERSION	Use VERSION instead of `uname -r`
-s, --syslog	print to syslog, not stderr

```

-q, --quiet          disable messages
-v, --verbose        enables more messages
-V, --version        show version
-h, --help           show this help
$

```

库接口层

库接口层包含了 libkmod 目录下的形如 libkmod-xxx.c 的模块文件，其中涉及用到的编程接口将近100个，形如 kmod_xxx_xxx_xxx 的接口函数。

按照这些接口函数的归属模块划分，我们经过代码分析，可以将它们分为6个重要的核心子模块，分别是 kmod_ctx, kmod_module, kmod_config, kmod_list, kmod_elf, kmod_file。

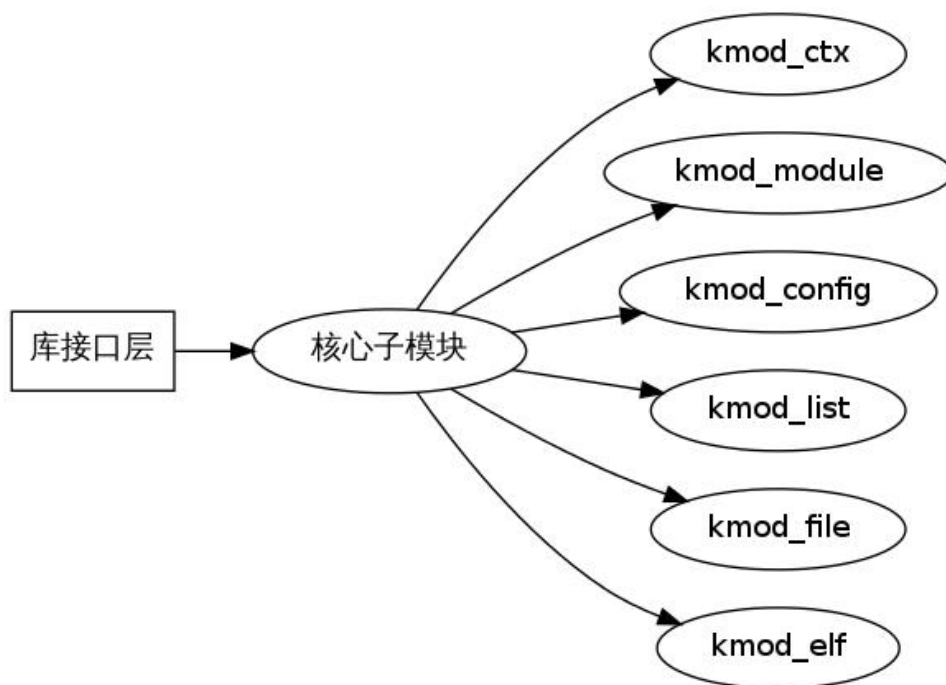


Figure 3: kmod-11 项目库接口层核心子模块结构图

另外还有6个属于基础类的子模块，为以上6个核心子模块提供支持，分别是 hash, index_mm, elf, list, array, log。

以下在模块分析小节将分别对这12个模块进行详细说明。

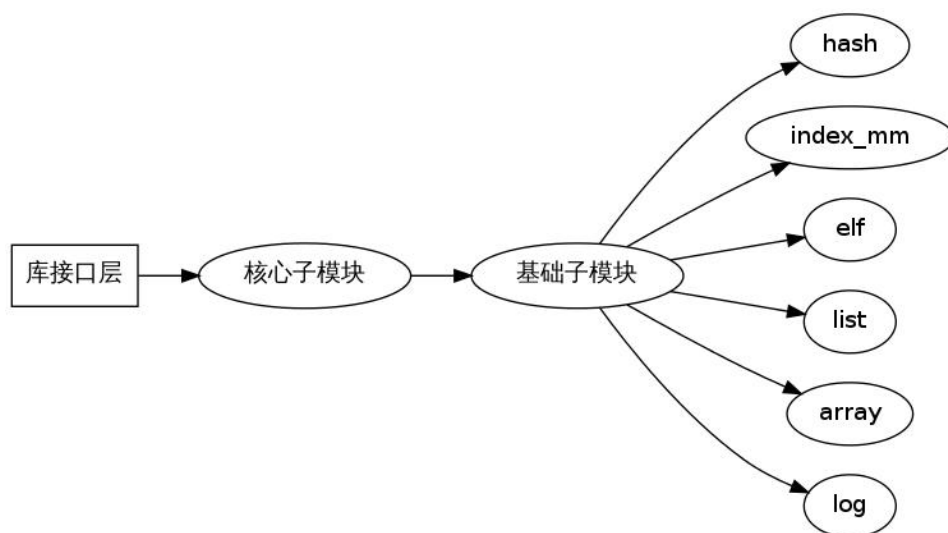


Figure 4: kmod-11 项目库接口层基础子模块结构图

系统调用抽象层

系统调用抽象层的实现代码主要集中在 `testsuite` 目录下，其中最重要的2个实现包含 `init_module` 系统调用和 `delete_module` 系统调用的模拟实现。

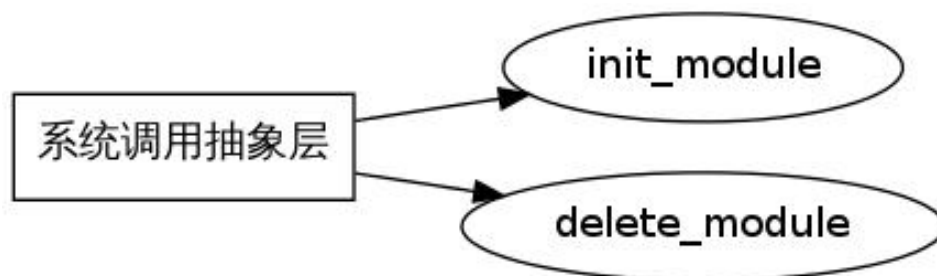


Figure 5: kmod-11 项目系统调用抽象层结构图

各层之间相互关系图

以上的命令，库，核心子模块，基础子模块以及系统调用抽象层，之间的关系并不是明显分开的，而是互相之间有交错的关系。为了更清楚的说明整个系统各个层次之间的调用关系，我们以下图为例，做简要说明。

其中命令层就是应用层，一般命令的实现都会首先使用 `kmod_ctx` 和 `kmod_module` 两个核心子模块的接口，其中 `kmod_ctx` 调用了 `kmod_config` 核心子模块和 `hash`, `log`, `index_mm` 基础子模块的接口功能，`kmod_module`

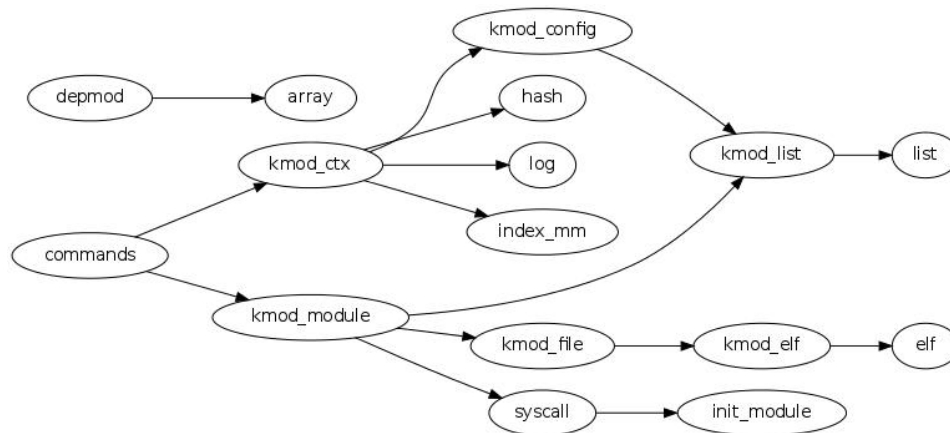


Figure 6: kmod-11 项目系统各层结构关系图

调用了 `kmod_file`, `kmod_elf`, `kmod_list` 这3个核心子模块的接口功能，以及简介调用了 `elf`, `list` 这2个基础子模块的接口功能，同时还使用了模拟层中有系统调用模拟实现的接口。

因此在我们所列出的6个核心子模块中，`kmod_ctx` 和 `kmod_module` 这2个核心子模块占据着更为重要的作用，是整个 `libkmod` 库的核心中的核心。在下面的分析中，我们还会详细论述它们的功能。

2. 模块分析

整个 `kmod` 项目的核心设计思想，是采用面向对象的编程模型，以C语言的结构体为数据结构的核心，将结构体作为对象来看待，围绕结构体来组织相应的函数接口。这些函数接口，大多具有较强的可读性，从它们的命名中，就能看出是属于哪个对象的什么方法。因为 C 语言中没有对象的概念，我们取而代之以模块来进行论述和分析。

kmod_ctx 库上下文

该模块的主要功能，是为 `kmod module` 提供一个执行环境，也就是通常所说的上下文 `context` 的概念。数据结构的设计，用了 `ctx` 来表示这个上下文的英文缩写。

该模块主要的实现代码都在 `libkmod/libkmod.c`，比较常用的数据结构和接口有

```
struct kmod_ctx;
```

```

struct kmod_ctx {
    int refcount;
    int log_priority;
    void (*log_fn)(void *data,
                    int priority, const char *file, int line,
                    const char *fn, const char *format, va_list args);
    void *log_data;
    const void *userdata;
    char *dirname;
    struct kmod_config *config;
    struct hash *modules_by_name;
    struct index_mm *indexes[_KMOD_INDEX_MODULES_SIZE];
    unsigned long long indexes_stamp[_KMOD_INDEX_MODULES_SIZE];
};

```

以下函数接口在 `tools` 下的6个命令中都有用到，是必须的基础类的调用。

```

struct kmod_ctx *kmod_new(const char *dirname, const char * const *config_paths);
struct kmod_ctx *kmod_ref(struct kmod_ctx *ctx);
struct kmod_ctx *kmod_unref(struct kmod_ctx *ctx);
void kmod_set_log_fn(struct kmod_ctx *ctx,
                     void (*log_fn)(void *log_data,
                                      int priority, const char *file, int line,
                                      const char *fn, const char *format,
                                      va_list args),
                     const void *data);

```

以下函数接口在 `modprobe` 命令中有用到。

```

int kmod_load_resources(struct kmod_ctx *ctx);
void kmod_unload_resources(struct kmod_ctx *ctx);

```

可以看出这些接口的传入参数和传出的返回值，都是与 `struct kmod_ctx` 相关的。而在这个数据结构中，有几个重要的成员变量，例如 `refcount`,

dirname, hash表引用等，这些都是和具体什么模块无关的抽象数据，代表着任何一个模块在运行时，都必须具备的属性。因此在后面的 struct kmod_module 核心数据结构中，将 struct kmod_ctx *ctx 作为首要包含的第一个成员变量，这也是和 ctx 的重要性分不开的。

kmod_module 内核模块核心操作

kmod_module 是所有模块中最重要和最核心的模块。该模块的主要功能是抽象了一个对所有内核模块进行操作的对象，它是真正可以代表一个具体的已经被加载到内核，或者即将被加载到内核的模块对象。其中，除了包含刚才所说的 kmod_ctx 上下文的模块，作为该模块运行时环境的一个引用之外，还包含有其他两个重要的数据结构 struct kmod_list *dep 和 struct kmod_file *file，其中 dep 代表着已经被加载到内核中的这个模块所需要的依赖关系，也就是为了要加载这个模块，需要用到的需要提前加载的其他模块列表，这样的模块可能有很多，所以采用了一个链表的方式来记录。file 代表着当前这个被加载模块，在磁盘上所对应的文件。这个结构体在下面还会详细解释，其中最重要的信息包括文件的大小，文件的内容在内存中的指针，以及该文件对应的 ELF 格式的文件内容。

该模块主要的实现代码都在 libkmod/libkmod-module.c，比较常用的数据结构和接口有

```
struct kmod_module;

struct kmod_module {
    struct kmod_ctx *ctx;
    char *hashkey;
    char *name;
    char *path;
    struct kmod_list *dep;
    char *options;
    const char *install_commands; /* owned by kmod_config */
    const char *remove_commands; /* owned by kmod_config */
                                char *alias; /*
* only set if this module was created from an alias */
    struct kmod_file *file;
    int n_dep;
    int refcount;
    struct {
        bool dep : 1;
        bool options : 1;
    };
};
```

```

        bool install_commands : 1;
        bool remove_commands : 1;
    } init;

    bool visited : 1;
    bool ignorecmd : 1;
    bool builtin : 1;
};

```

以下函数接口在 `tools` 下的6个命令中都有用到，是必须的基础类的调用。其中 初始化的方法有4个，前两个 `new_from_name` 和 `new_from_path` 是以所提供的模块文件名来创建单个模块。`path` 代表着从根目录开始的绝对路径方式，`name` 代表着从当前目录的相对路径方式。另外两个 `new_from_lookup` 和 `new_from_loaded`，分别是以所提供的别名来创建链表，或者直接从已经加载的依赖关系数组中动态创建链表。

```

int kmod_module_new_from_name(struct kmod_ctx *ctx, const char *name,
                             struct kmod_module **mod);
int kmod_module_new_from_path(struct kmod_ctx *ctx, const char *path,
                              struct kmod_module **mod);
int kmod_module_new_from_lookup(struct kmod_ctx *ctx, const char *given_alias,
                                struct kmod_list **list);
int kmod_module_new_from_loaded(struct kmod_ctx *ctx,
                                struct kmod_list **list);

struct kmod_module *kmod_module_ref(struct kmod_module *mod);
struct kmod_module *kmod_module_unref(struct kmod_module *mod);
int kmod_module_unref_list(struct kmod_list *list);
struct kmod_module *kmod_module_get_module(const struct kmod_list *entry);

```

以下函数接口主要用 `insmod/rmmod` 命令的实现。这2个接口是实现 `insmod` 和 `rmmod` 这两个命令时所用到的最主要的 `libkmod` 库接口。

```

int kmod_module_remove_module(struct kmod_module *mod, unsigned int flags);
int kmod_module_insert_module(struct kmod_module *mod, unsigned int flags,

```

以下函数接口 `kmod_module_probe_insert_module` 主要用于 `modprobe` 命令的实现。这个接口和上面的 `kmod_module_insert_module` 所不同的是，它可以支持分析依赖关系，把当前要加载模块的依赖模块，也同时加载进来，省得用户自己去一个一个加载。

```
int kmod_module_probe_insert_module(struct kmod_module *mod,
                                   unsigned int flags, const char *extra_options,
                                   int (*run_install)(struct kmod_module *m,
                                                       const char *cmdline, void *data),
                                   const void *data,
                                   void (*print_action)
(struct kmod_module *m, bool install,
                                   const char *options));
```

以下函数接口主要用 `lsmod` 命令的实现。

```
const char *kmod_module_get_name(const struct kmod_module *mod);
const char *kmod_module_get_path(const struct kmod_module *mod);
const char *kmod_module_get_options(const struct kmod_module *mod);
const char *kmod_module_get_install_commands(const struct kmod_module *mod);
const char *kmod_module_get_remove_commands(const struct kmod_module *mod);
struct kmod_list *kmod_module_get_dependencies(const struct kmod_module *mod);
int kmod_module_get_softdeps(const struct kmod_module *mod,
                             struct kmod_list **pre, struct kmod_list **post);
```

以下函数接口主要用 `modinfo` 命令的实现。其中 `kmod_module_info_get_key` 和 `kmod_module_info_get_value` 是最重要的两个接口，`modinfo` 命令所显示的信息冒号左侧的是 `key`，冒号右侧的是 `value`，因此，可以说这2个接口是专为 `modinfo` 命令而准备的。

```
int kmod_module_get_info(const struct kmod_module *mod, struct kmod_list **list);
const char *kmod_module_info_get_key(const struct kmod_list *entry);
const char *kmod_module_info_get_value(const struct kmod_list *entry);
void kmod_module_info_free_list(struct kmod_list *list);
```

kmod_file 内核模块文件操作

该模块是隶属于 kmod_module 模块的一个成员变量，用来支持 kmod_module 模块的实现。每一个需要加载的模块，都对应于磁盘上的一个文件，要插入一个模块，首先需要从磁盘上把这个文件读出来读到内存中，并且获得文件的大小和指向文件内容的内存指针，用这些数据再构建出一个 ELF 文件的 section 信息，并获得其中有关用模块的 modinfo 内容。

该模块主要的实现代码都在 libkmod/libkmod-file.c，比较常用的数据结构和接口有

```
struct kmod_file;

struct kmod_file {
#ifdef ENABLE_XZ
    bool xz_used;
#endif
#ifdef ENABLE_ZLIB
    gzFile gzf;
#endif
    int fd;
    off_t size;
    void *memory;
    const struct file_ops *ops;
    const struct kmod_ctx *ctx;
    struct kmod_elf *elf;
};
```

以下函数接口是这个模块中最重要的接口。

```
struct kmod_file *kmod_file_open(const struct kmod_ctx *ctx, const char *filename)
off_t kmod_file_get_size(const struct kmod_file *file)
void *kmod_file_get_contents(const struct kmod_file *file)
void kmod_file_unref(struct kmod_file *file)
```

kmod_elf 内核模块elf文件操作

该模块是隶属于 kmod_file 模块的一个成员变量，用来支持 kmod_file 模块的实现。从层次结构上来说，它是高于 kmod_file 的，因为这个模块的创建，需要依赖于 kmod_file 模块提供的 get_contents 和 get_size 接口所获得的返回值。但是从数据结构的隶属关系上，它是属于 kmod_file 内部的一个成员。

该模块主要的实现代码都在 libkmod/libkmod-elf.c，这个模块所围绕的数据结构是 kmod_elf，其中所包含的最重要的成员是 memory 和 size，在 kmod_module_insert_module 函数接口中，需要用到这2个数据来创建一个 kmod_elf 变量，因此 kmod_elf_new 函数的2个参数也就是用的这2个变量。

```
struct kmod_elf;

struct kmod_elf {
    const uint8_t *memory;
    uint8_t *changed;
    uint64_t size;
    enum kmod_elf_class class;
    struct kmod_elf_header {
        struct {
            uint64_t offset;
            uint16_t count;
            uint16_t entry_size;
        } section;
        struct {
            uint16_t section; /
* index of the strings section */
            uint64_t size;
            uint64_t offset;
            uint32_t nameoff; /* offset in strings itself */
        } strings;
        uint16_t machine;
    } header;
};
```

以下函数接口是这个模块中最重要的接口。kmod_elf_get_memory 函数是一个典型的面向对象的封装，它实际上就是简单的返回成员变量 memory 的值，但设计者并没有采用直接用指针 elf->memory 的方式来获取成员变

量，而是通过接口来访问数据。这个 memory 指针是整个 kmod_elf 数据结构中，最重要的一个成员，它代表着 elf 文件从磁盘被加载到内存之后的内存指针，这个信息在 init_module 系统调用的时候，将被传给内核，由内核完成真正把模块插入到内核空间的工作。

```
struct kmod_elf *kmod_elf_new (const void *memory, off_t size)
int kmod_elf_strip_section(struct kmod_elf *elf, const char *section)
const void *kmod_elf_get_memory(const struct kmod_elf *elf)
void kmod_elf_unref(struct kmod_elf *elf)
```

kmod_list 内核模块列表

该模块是隶属于 kmod_module 模块的一个成员变量，用来支持 kmod_module 模块的实现。每一个被加载的模块，有的是不依赖于任何其他模块就可以被加载，但也有很多是需要依赖于其他模块被加载后，才能被加载。kmod_list 为这些模块提供了一个索引，通过这个 list 可以获得所有和当前被加载模块有依赖关系的模块列表，然后在这个列表中，这些需要提前被加载的模块也按照依赖关系排好顺序，加载的时候只需要遍历链表，依次加载每个模块，最后再加载当前模块就可以了。这个功能的实现可以参考 modprobe 命令实现流程分析。这个模块在 kmod_module, kmod_config 中都有用到。

该模块主要的实现代码都在 libkmod/libkmod-list.c，其中结构体的定义在 kmod-11/libkmod/libkmod-private.h 中。

```
struct kmod_list {
    struct list_node node;
    void *data;
};

struct kmod_list *kmod_list_append(struct kmod_list *list, const void *data) _must_check;
struct kmod_list *kmod_list_prepend(struct kmod_list *list, const void *data) _must_check;
struct kmod_list *kmod_list_remove(struct kmod_list *list) _must_check;
struct kmod_list *kmod_list_remove_data(struct kmod_list *list,
                                         const void *data) _must_check __attribute__((nonnull(2)));
struct kmod_list *kmod_list_remove_n_latest(struct kmod_list *list,
                                             unsigned int n) _must_check;
struct kmod_list *kmod_list_insert_after(struct kmod_list *list, const void *data) __attr
```

```

struct kmod_list *kmod_list_insert_before(struct kmod_list *list, const void *data) __attribute__((nonnull));
struct kmod_list *kmod_list_append_list(struct kmod_list *list1, struct kmod_list *list2) __attribute__((nonnull));

#define kmod_list_foreach(list_entry, first_entry) \
    for (list_entry = ((first_entry) == NULL) ? NULL : (first_entry); \
         list_entry != NULL; \
         list_entry = (list_entry->node.next == &((first_entry)->node)) ? NULL : \
             container_of(list_entry->node.next, struct kmod_list, node))

```

kmod_config 内核模块配置

该模块是隶属于 kmod_ctx 模块的一个成员变量，用来支持 kmod_ctx 模块的实现。在 kmod_new 函数的实现中，需要传递一个 config_paths 字符串变量，这个变量将作为 kmod_config_new 的参数，创建出一个 kmod_config 变量，用来填充 kmod_ctx 数据结构中的 *config，表示配置文件所在的路径。如果默认是NULL，则会到以下3个路径中去寻找 /run/modprobe.d/， /lib/modprobe.d/， /etc/modprobe.d/， 否则，则会将 config_paths 作为一个指针数组的基地址，用 config_paths[i] 来遍历整个指针数组，获得每一个路径 char * path = config_paths[i]，然后用 path 来创建 conf_files_list。

该模块主要的实现代码在 libkmod/libkmod-config.c，其中结构体的定义在 kmod-11/libkmod/libkmod-private.h 中。

```

struct kmod_config;

struct kmod_config {
    struct kmod_ctx *ctx;
    struct kmod_list *aliases;
    struct kmod_list *blacklists;
    struct kmod_list *options;
    struct kmod_list *remove_commands;
    struct kmod_list *install_commands;
    struct kmod_list *softdeps;

    struct kmod_list *paths;
};

int kmod_config_new(struct kmod_ctx *ctx, struct kmod_config **p_config, const char * config_paths) __attribute__((nonnull));

```

```
void kmod_config_free(struct kmod_config *config)
```

hash 哈希表模块

该模块是隶属于 `kmod_ctx` 模块的一个成员变量，用来支持 `kmod_ctx` 模块的实现。

该模块主要的实现代码都在 `libkmod/libkmod-hash.c`。

```
struct hash;

struct hash {
    unsigned int count;
    unsigned int step;
    unsigned int n_buckets;
    void (*free_value)(void *value);
    struct hash_bucket buckets[];
};

struct hash *hash_new(unsigned int n_buckets, void (*free_value)
(void *value));
void hash_free(struct hash *hash);
int hash_add(struct hash *hash, const char *key, const void *value);
int hash_add_unique(struct hash *hash, const char *key, const void *value);
int hash_del(struct hash *hash, const char *key);
void *hash_find(const struct hash *hash, const char *key);
unsigned int hash_get_count(const struct hash *hash);
void hash_iter_init(const struct hash *hash, struct hash_iter *iter);
bool hash_iter_next(struct hash_iter *iter, const char **key,
                    const void **value);
```

index_mm 索引查找模块

该模块是隶属于 `kmod_ctx` 模块的一个成员变量，用来支持 `kmod_ctx` 模块的实现。

该模块主要的实现代码都在 `libkmod/libkmod-index.c`

```

struct index_mm;

struct index_mm {
    struct kmod_ctx *ctx;
    void *mm;
    uint32_t root_offset;
    size_t size;
};

struct index_file *index_file_open(const char *filename);
void index_file_close(struct index_file *idx);
char *index_search(struct index_file *idx, const char *key);
void index_dump(struct index_file *in, int fd, const char *prefix);
struct index_value *index_searchwild(struct index_file *idx, const char *key);

void index_values_free(struct index_value *values);

/* Implementation using mmap */
struct index_mm *index_mm_open(struct kmod_ctx *ctx, const char *filename,
                               unsigned long long *stamp);
void index_mm_close(struct index_mm *index);
char *index_mm_search(struct index_mm *idx, const char *key);
struct index_value *index_mm_searchwild(struct index_mm *idx, const char *key);
void index_mm_dump(struct index_mm *idx, int fd, const char *prefix);

```

elf 文件分析模块

该模块是一个在 `kmod_elf` 内部实现的一系列接口的统称，本身并没有一个同名的数据结构，其中比较具有相关性的一个数据结构就是 `kmod_elf_header`。这个数据结构隶属于 `kmod_elf`，用来支持 `kmod_elf` 模块的实现。

```

struct kmod_elf_header {
    struct {
        uint64_t offset;
        uint16_t count;
        uint16_t entry_size;
    };
};

```

```

    } section;
    struct {
        uint16_t section; /* index of the strings section */
        uint64_t size;
        uint64_t offset;
        uint32_t nameoff; /* offset in strings itself */
    } strings;
    uint16_t machine;
} header;

enum kmod_elf_class {
    KMOD_ELF_32 = (1 << 1),
    KMOD_ELF_64 = (1 << 2),
    KMOD_ELF_LSB = (1 << 3),
    KMOD_ELF_MSB = (1 << 4)
};

```

elf 模块的接口主要包含 elf_get_mem, elf_get_section_header, elf_get_strings_section 这几个常用的，用来分析 elf 文件的内部结构。

```

static int elf_identify (const void *memory, uint64_t size)
static uint64_t elf_get_uint (const struct kmod_elf *elf, uint64_t offset, uint16_t size)
static int elf_set_uint (struct kmod_elf *elf, uint64_t offset, uint64_t size, uint64_t va
static const void *elf_get_mem (const struct kmod_elf *elf, uint64_t offset)
static const void *elf_get_section_header (const struct kmod_elf *elf, uint16_t idx)
static int elf_get_section_info (const struct kmod_elf *elf, uint16_t idx, uint64_t *offse
static const char * elf_get_strings_section (const struct kmod_elf *elf, uint64_t *size)

```

list 链表模块

该模块是一个基础类的功能模块，它是一个抽象的数据结构 list 的实现。可以用来支持 kmod_list，等于是用 kmod_list 对 list 做了一层封装，也相当于是一个抽象层的概念，然后在这个项目中，更多的使用 kmod_list 来支持其他的数据结构。例如 kmod_config, kmod_module 中都是直接使用了 kmod_list 数据结构，而不是 list。

其中结构体 `struct link_node` 的定义在 `kmod-11/libkmod/libkmod-private.h` 中。

```
struct list_node {
    struct list_node *next, *prev;
};

static struct list_node * list_node_init (struct list_node *node)
static struct list_node * list_node_next (const struct list_node *node)
static struct list_node * list_node_prev (const struct list_node *node)
static void list_node_append (struct list_node *list, struct list_node *node)
static struct list_node * list_node_remove (struct list_node *node)
static void list_node_insert_after (struct list_node *list, struct list_node *node)
static void list_node_insert_before (struct list_node *list, struct list_node *node)
static void list_node_append_list (struct list_node *list1, struct list_node *list2)
```

array 动态数组模块

该模块的主要功能是实现一个动态数组，完成动态数组所需要的初始化 `init`，插入 `append`，删除 `remove_at`，排序 `sort` 等几个重要的操作。在 `depmod` 命令的实现中，`array` 至关重要，正是通过构建了这个动态数组，完成了对这个数组的 `sort` 排序操作，才得以最终输出 `modules.dep` 文件，为 `modprobe` 命令做好了准备。

通过 `grep` 命令 `grep -rns ``array_init`` kmod-11/*` 可以看出，在整个 `kmod` 项目中，只有 `depmod` 命令用到了 `array` 的支持，其他地方都没有用到。但这个模块是一个通用模块，值得我们学习和研究。

该模块主要的实现代码都在 `libkmod/libkmod-array.c`，其中结构体 `struct array` 的定义在 `kmod-11/libkmod/libkmod-array.h` 中。

```
struct array {
    void **array;
    size_t count;
    size_t total;
    size_t step;
};
```

```

void array_init(struct array *array, size_t step);
int array_append(struct array *array, const void *element);
int array_append_unique(struct array *array, const void *element);
void array_pop(struct array *array);
void array_free_array(struct array *array);
void array_sort(struct array *array, int (*cmp)
(const void *a, const void *b));
int array_remove_at(struct array *array, unsigned int pos);

```

log 日志记录模块

该模块的主要功能是实现一个日志记录打印输出功能，这个模块中最核心的函数就是 `kmod_log`，该函数的实现代码都在 `libkmod/libkmod-list.c`。

```

void kmod_log(const struct kmod_ctx *ctx,
              int priority, const char *file, int line, const char *fn,
              const char *format, ...)

```

但是，这个函数并不是直接被调用，而是通过一个宏定义 `kmod_log_cond` 间接调用，这个宏定义引入了打印优先级 `prio` 的概念，使得所有日志打印输出都是根据优先级的有条件输出。另外还有一个 `kmod_log_null` 是一个空打印函数。有关这个部分的实现可以参考 `kmod-11/libkmod/libkmod-private.h` 文件。

```

14 #define kmod_log_cond(ctx, prio, arg...) \
15     do { \
16         if (kmod_get_log_priority(ctx) >= prio) \
17             kmod_log(ctx, prio, __FILE__, __LINE__, __func__, ## arg); \
18     } while (0)

11 static _always_inline_ _printf_format_(2, 3) void
12     kmod_log_null(struct kmod_ctx *ctx, const char *format, ...) {}
13

```

以下实现的 DGB(), INFO(), ERR() 在各个模块中都有用到。

```
20 #ifdef ENABLE_LOGGING
21 #   ifdef ENABLE_DEBUG
22 #       define DBG(ctx, arg...) kmod_log_cond(ctx, LOG_DEBUG, ## arg)
23 #   else
24 #       define DBG(ctx, arg...) kmod_log_null(ctx, ## arg)
25 #   endif
26 #   define INFO(ctx, arg...) kmod_log_cond(ctx, LOG_INFO, ## arg)
27 #   define ERR(ctx, arg...) kmod_log_cond(ctx, LOG_ERR, ## arg)
28 #else
29 #   define DBG(ctx, arg...) kmod_log_null(ctx, ## arg)
30 #   define INFO(ctx, arg...) kmod_log_null(ctx, ## arg)
31 #   define ERR(ctx, arg...) kmod_log_null(ctx, ## arg)
32 #endif
```

3. 运行时调试图

insmod 命令运行时调试图

```
$ cat hello.c

#include <linux/module.h>
#include <linux/kernel.h>

MODULE_AUTHOR("AKAEDU");
MODULE_DESCRIPTION("module example ");
MODULE_LICENSE("GPL");

int global = 100;

int __init
akae_init (void)
{
    int local = 200;
    printk ("Hello, akaedu\n");
}
```



```

    printk(".text = %p\n", akae_init);
    printk(".data = %p\n", &global);
    printk(".stack = %p\n", &local);
    return 0;
}

void __exit
akae_exit (void)
{
    int local = 300;
    printk ("module exit\n");

    printk(".text = %p\n", akae_exit);
    printk(".data = %p\n", &global);
    printk(".stack = %p\n", &local);
    return ;
}

module_init(akae_init);
module_exit(akae_exit);
$

```

编写测试用内核模块源码 hello.c

```

$ cat Makefile

obj-m := hello.o

KDIR := /usr/src/linux-headers-3.2.0-29-generic-pae/

all:
    make -C $(KDIR) SUBDIRS=$(PWD) modules

clean:
    rm -rf *.o *.ko *.mod.* *.cmd
    rm -rf .*

$

```

编写测试用内核模块的 Makefile 文件 Makefile

```
$ cd hello-module/
$ make
make      - C      /usr/src/linux-headers-3.2.0-29-generic-
pae/      SUBDIRS=/home/akaedu/Github/comment-sub/hello-
module    modules
make[1]: Entering directory `/usr/src/linux-headers-3.2.0-29-
generic-pae'
  CC [M]  /home/akaedu/Github/comment-sub/hello-module/hello.o
  Building modules, stage 2.
  MODPOST 1 modules
  CC      /home/akaedu/Github/comment-sub/hello-module/
hello.mod.o
  LD [M]  /home/akaedu/Github/comment-sub/hello-module/hello.ko
make[1]: Leaving directory `/usr/src/linux-headers-3.2.0-29-
generic-pae'
$
```

编译内核模块 hello.ko

```
$ cd kmod-11/
$ make
make --no-print-directory all-recursive
Making all in .
  CC      libkmod/libkmod.lo
  CC      libkmod/libkmod-list.lo
  CC      libkmod/libkmod-config.lo
  CC      libkmod/libkmod-index.lo
  CC      libkmod/libkmod-module.lo
  CC      libkmod/libkmod-file.lo
  CC      libkmod/libkmod-elf.lo
  CC      libkmod/libkmod-hash.lo
  CC      libkmod/libkmod-array.lo
  CC      libkmod/libkmod-util.lo
  CCLD    libkmod/libkmod-util.la
  CCLD    libkmod/libkmod.la
```

```

CCLD    libkmod/libkmod-private.la
CC      tools/kmod.o
CC      tools/lsmmod.o
CC      tools/rmmod.o
CC      tools/insmod.o
CC      tools/modinfo.o
CC      tools/modprobe.o
CC      tools/depmod.o
CC      tools/log.o
CCLD    tools/kmod
CCLD    tools/kmod-nolib
GEN     libkmod/libkmod.pc
Making all in libkmod/docs
make[2]: Nothing to be done for `all'.
Making all in man
GEN     depmod.d.5
GEN     modprobe.d.5
GEN     modules.dep.5
GEN     depmod.8
GEN     insmod.8
GEN     lsmod.8
GEN     rmmod.8
GEN     modprobe.8
GEN     modinfo.8
$

```

编译生成测试用工具 insmod

```
$ sudo ./kmod-11/tools/insmod hello-module/hello.ko
```

使用测试用工具 insmod 插入内核模块

```
$ lsmod | grep hello
hello                12415  0

```

```
$ dmesg | tail
[350775.859640] usb 2-2.1: USB disconnect, device number 14
[350777.611134] Bluetooth: hci0 urb c7304180 submission failed
[350778.217886]          usb          2-2.1:          new          full-
speed USB device number 15 using uhci_hcd
[352048.604051] usb 2-2.1: USB disconnect, device number 15
[352048.630829] Bluetooth: hci0 urb dd3d3000 submission failed
[352049.254135]          usb          2-2.1:          new          full-
speed USB device number 16 using uhci_hcd
[352111.505217] Hello, akaedu
[352111.505223] .text = e0844000
[352111.505225] .data = e0c03000
[352111.505227] .stack = df6e3f54
$
```

查看插入内核模块后的打印结果

```
$ sudo ./kmod-11/tools/insmod hello-module/hello.ko
insmod: ERROR: could not insert module hello-module/
hello.ko: File exists
$ lsmod | grep hello
hello                12415  0
```

重复插入同样的内核模块系统会报错

rmmod 命令运行时调试图

```
$ sudo ./kmod-11/tools/rmmod hello-module/hello.ko
$ rmmod          hello          .ko
```

使用测试用工具 rmmod 卸载内核模块

```

$ lsmod | grep hello
$
$ dmesg | tail
[352048.630829] Bluetooth: hci0 urb dd3d3000 submission failed
[352049.254135]          usb          2-2.1:          new          full-
speed USB device number 16 using uhci_hcd
[352111.505217] Hello, akaedu
[352111.505223] .text = e0844000
[352111.505225] .data = e0c03000
[352111.505227] .stack = df6e3f54
[352365.795618] module exit
[352365.795624] .text = e0c01000
[352365.795626] .data = e0c03000
[352365.795628] .stack = dd197f40
$

```

查看卸载内核模块后的打印结果

lsmod 命令运行时调试图

该命令不支持带参数，因此后面如果跟某个模块名称，只会显示 usage ，不会显示模块的信息。

```

$ ./kmod-11/tools/lsmod ufs
Usage: ./kmod-11/tools/lsmod
$

```

不加参数，直接运行 lsmod ，可以显示出当前在内核中的模块情况。

```

$ ./kmod-11/tools/lsmod
Module          Size  Used by
nls_iso8859_1   12617  0
nls_cp437       12751  0
usb_storage     39646  0

```

btrfs	638208	0
zlib_deflate	26622	1 btrfs
libcrc32c	12543	1 btrfs
ufs	78131	0
qnx4	13309	0
hfsplus	83507	0
hfs	49479	0
minix	31418	0
ntfs	100171	0
vfat	17308	0
msdos	17132	0
fat	55605	2 msdos,vfat
jfs	175085	0
xfs	747494	0
reiserfs	230896	0
ext2	67987	0
usb_lip	17885	0
vmwgfx	102138	2
ttm	65344	1 vmwgfx
drm	197692	3 ttm,vmwgfx
acpihp	23535	0
vmw_balloon	12700	0
psmouse	72919	0
serio_raw	13027	0
btusb	17912	2
joydev	17393	0
rfcomm	38139	0
bnep	17830	2
bluetooth	158438	13 bnep,rfcomm,btusb
ppdev	12849	0
nfsd	229850	13
nfs	307376	0
lockd	78804	2 nfs,nfsd
fscache	50642	1 nfs
i2c_piix4	13093	0
auth_rpcgss	39597	2 nfs,nfsd
nfs_acl	12771	2 nfs,nfsd
sunrpc	205647	19 nfs_acl,auth_rpcgss,lockd,nfs,nfsd
parport_pc	32114	1
shpchp	32325	0
mac_hid	13077	0
snd_ens1371	24819	4

```

gameport          15060  1 snd_ens1371
snd_rawmidi       25424  1 snd_ens1371
snd_seq_device    14172  1 snd_rawmidi
snd_ac97_codec    106082 1 snd_ens1371
ac97_bus          12642  1 snd_ac97_codec
snd_pcm           80845  3 snd_ac97_codec,snd_ens1371
snd_timer         28931  2 snd_pcm
snd               62064 12 snd_timer,snd_pcm,snd_ac97_codec,snd_seq_device,snd_rawmidi,s
soundcore         14635  1 snd
snd_page_alloc    14108  1 snd_pcm
lp                17455  0
parport           40930  3 lp,parport_pc,ppdev
pcnet32           41110  0
usbhid            41906  0
hid               77367  1 usbhid
mptspi            22474  2
mptscsih          39530  1 mptspi
mptbase           96852  2 mptscsih,mptspi
floppy            60310  0
vmw_pvscsi        18334  0
vmxnet3           44924  0
$

```

modinfo 命令运行时调试图

对于没有依赖关系的单个 .ko 内核模块，使用 modinfo 可以直接显示出模块的信息。

```

$ ./kmod-11/tools/modinfo ./hello-module/hello.ko
filename:         ./hello-module/hello.ko
license:          GPL
description:       module example
author:           AKAEDU
srcversion:        C928237C5C93794C5E0EF9C
depends:
vermagic:          3.2.0-29- generic-
pae SMP mod_unload modversions 686
$

```

对于有依赖关系的单个 .ko 内核模块，使用 modinfo 可以显示出模块的依赖关系信息depends，同时也可以显示出模块加载时的参数信息parm。这个参数信息是在编译内核模块的时候，源码中通过用 MODULE_PARM_DESC() 宏来指定的。

```
$ modinfo /lib/modules/3.2.0-29-generic-pae/kernel/fs/nfs/nfs.ko
filename:      /lib/modules/3.2.0-29-generic-pae/kernel/fs/nfs/nfs.ko
license:       GPL
author:        Olaf Kirch <okir@monad.swb.de>
srcversion:    BB0605CB0AF0BA47415CBEC
depends:        fscache,sunrpc,lockd,auth_rpcgss,nfs_acl
intree:        Y
vermagic:      3.2.0-29-generic-pae SMP mod_unload modversions 686
parm:          callback_tcpport:portnr
parm:          cache_getent:Path to the client cache upcall program (string)
parm:          cache_getent_timeout:Timeout (in seconds) after which the cache upcall is assumed to have failed (int)
parm:          enable_ino64:bool
parm:          nfs4_disable_idmapping:Turn off NFSv4 idmapping when using 'sec=sys' (bool)
$
```

对于可以使用别名的内核模块，也可以用它的别名 alias 来查看模块信息。别名是在 /lib/modules/3.2.0-29-generic-pae/modules.alias 描述的模块名称的简单形式。

```
$ head /lib/modules/3.2.0-29-generic-pae/modules.alias
# Aliases extracted from modules themselves.
alias pci:v00008086d00003422sv*sd*bc*sc*i* mce_xeon75xx
alias char-major-10-134 apm
alias devname:cpu/microcode microcode
alias char-major-10-184 microcode
alias aes-asm aes_i586
alias aes aes_i586
alias twofish-asm twofish_i586
alias twofish twofish_i586
alias salsa20-asm salsa20_i586
$
```


但是在这个文件中，别名为 `aes` 的模块，还有很多个，通过 `grep ``alias aes``` 可以看出一共有3个别名都是 `aes` 的模块，分别是 `aes_i586`, `aesni_intel`, `padlock_aes`。

```
$ cat /lib/modules/3.2.0-29-generic-pae/modules.alias | grep "alias aes"
alias aes-asm aes_i586
alias aes aes_i586
alias aes aesni_intel
alias aes padlock_aes
$
```

通过 `modinfo` 来查看 `aes` 这个别名所对应的模块信息，可以看到这3个模块所对应的模块文件 `crypto/aes-i586.ko`, `aesni-intel.ko`, `padlock-aes.ko` 的详细信息。

```
$ ./kmod-11/tools/modinfo aes
filename:      /lib/modules/3.2.0-29-generic-pae/kernel/arch/
x86/crypto/aes-i586.ko
alias:         aes-asm
alias:         aes
license:       GPL
description:   Rijndael (AES) Cipher Algorithm, asm optimized
srcversion:    24373C7FF739526E8AAF1B0
depends:
intree:       Y
vermagic:      3.2.0-29-generic-pae SMP mod_unload modversions 686

filename:      /lib/modules/3.2.0-29-generic-pae/kernel/arch/
x86/crypto/aesni-intel.ko
alias:         aes
license:       GPL
description:   Rijndael (AES) Cipher Algorithm, Intel AES-
NI instructions optimized
srcversion:    E0B859CB1FF480D0B70F6F2
depends:        cryptd,aes-i586
intree:       Y
```

```

vermagic:                                     3.2.0-29- generic-
pae SMP mod_unload modversions 686

filename:      /lib/modules/3.2.0-29-generic-pae/kernel/drivers/
crypto/padlock-aes.ko
alias:         aes
author:        Michal Ludvig
license:       GPL
description:    VIA PadLock AES algorithm support
srcversion:    6842B20FF8E68314ED45103
depends:
intree:        Y
vermagic:                                     3.2.0-29- generic-
pae SMP mod_unload modversions 686
$

```

4. 运行流程分析

insmod 命令实现流程

insmod 命令和其他所有命令一样，都是采用了一个统一的调用方法。实现了一个 struct kmod_cmd 的数据结构，这个数据结构定义在 kmod-11/tools/kmod.h 文件中。

```

struct kmod_cmd {
    const char *name;
    int (*cmd)(int argc, char *argv[]);
    const char *help;
};

```

在 kmod-11/tools/insmod.c 文件中，用这个结构体定义了

```

160
161 const struct kmod_cmd kmod_cmd_compat_insmod = {
162     .name = "insmod",

```

```

163         .cmd = do_insmod,
164         .help = "compat insmod command",
165     };

```

在 kmod-11/tools/kmod.c 文件中，实现了一个通用的 main 方法。

```

166 int main(int argc, char *argv[])
167 {
168     int err;
169
170     if (strcmp(program_invocation_short_name, "kmod") == 0)
171         err = handle_kmod_commands(argc, argv);
172     else
173         err = handle_kmod_compat_commands(argc, argv);
174
175     return err;
176 }

```

在这个main函数中，调用了 handle_kmod_compat_commands 函数。

```

149
150 static int handle_kmod_compat_commands(int argc, char *argv[])
151 {
152     const char *cmd;
153     size_t i;
154
155     cmd = basename(argv[0]);
156
157     for (i = 0; i < ARRAY_SIZE(kmod_compat_cmds); i++) {
158         if (strcmp(kmod_compat_cmds[i]->name, cmd) == 0)
159             return kmod_compat_cmds[i]->cmd(argc, argv);
160     }
161
162     return -ENOENT;
163 }
164

```

handle_kmod_compat_commands 这个函数很简单，就是一个for循环遍历整个 kmod_compat_cmds，找出每一个 kmod_compat_cmds[i] 来进行名称 name 匹配，如果匹配上了，就调用相应的函数指针 cmd 来执行该操作。

kmod_compat_cmds 这个数组目前有6个元素，分别就是在 insmod.c rmmmod.c lsmod.c modinfo.c depmod.c modprobe.c 这6个文件中定义的全局结构体。

```
44
45 static const struct kmod_cmd *kmod_compat_cmds[] = {
46     &kmod_cmd_compat_lsmod,
47     &kmod_cmd_compat_rmmmod,
48     &kmod_cmd_compat_insmod,
49     &kmod_cmd_compat_modinfo,
50     &kmod_cmd_compat_modprobe,
51     &kmod_cmd_compat_depmod,
52 };
```

最后所有 tools 目录下的可执行文件，都是以软链接的方式，链接到唯一的一个可执行文件 kmod-nolib 上。

```
$ ls kmod-11/tools/ -l | grep ^l
lrwxrwxrwx 1 akaedu akaedu      10 Jun  9 19:23 depmod -> kmod-
nolib
lrwxrwxrwx 1 akaedu akaedu      10 Jun  9 19:23 insmod -> kmod-
nolib
lrwxrwxrwx 1 akaedu akaedu      10 Jun  9 19:23 lsmod -> kmod-
nolib
lrwxrwxrwx 1 akaedu akaedu      10 Jun  9 19:23 modinfo -> kmod-
nolib
lrwxrwxrwx 1 akaedu akaedu      10 Jun  9 19:23 modprobe -> kmod-
nolib
lrwxrwxrwx 1 akaedu akaedu      10 Jun  9 19:23 rmmmod -> kmod-
nolib
$
```

我们可以用一张图来表示这些文件和数据结构之间的关系。

do_insmod 核心代码分析



Figure 7: 命令实现结构图

分析到这里，我们就进入到了 insmod 命令实现最核心的部分 do_insmod() 函数，后面的其他几个命令也都是类似的方法，进入到 do_xxx() 中，之后的分析关于这部分不再赘述。下面我们来看看 do_insmod() 函数实现中最核心的部分代码摘要。

```

do_insmod()
{
    opts = argv[x]; // name=value
    ctx = kmod_new(NULL, &null_config);
    err = kmod_module_new_from_path(ctx, filename, &mod);
    err = kmod_module_insert_module(mod, 0, opts);
    kmod_module_unref(mod);
    kmod_unref(ctx);
}
  
```

注意这个小节中后面的绝大部分代码都不是原代码的引用，而是将其中最核心的函数调用和传入传出的参数整理到函数体内部，为便于查看函数调用关系而做了简化。

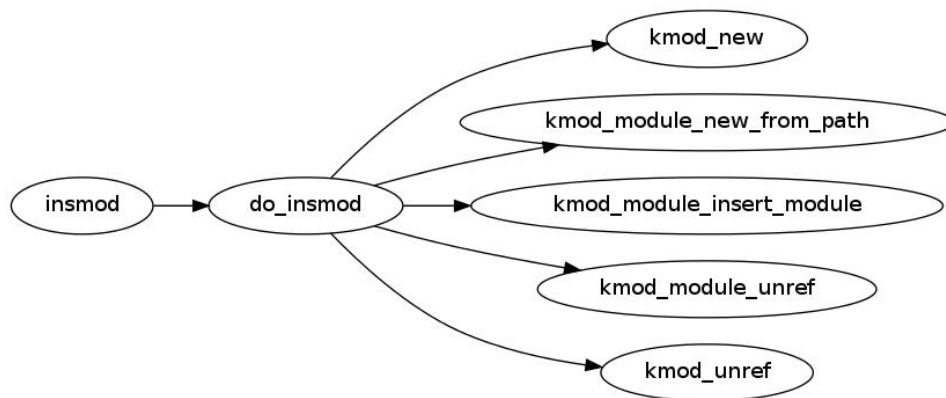


Figure 8: insmod 调用层次图

do_insmod() 的实现可以分为5个步骤

- 创建模块的上下文 struct kmod_ctx ctx

- 通过 filename 和 ctx 获得模块 struct kmod_module mod
- 将 mod 插入到当前模块列表中，完成真正的插入内核功能
- 释放 mod
- 释放 ctx

涉及到两个模块的5个接口，两个模块是

- libkmod/libkmod.c
 - kmod_new()
 - kmod_unref()
- libkmod/libkmod-module.c
 - kmod_module_new_from_path()
 - kmod_module_insert_module()
 - kmod_module_unref()

可以看出，这里真正最后完成插入操作的函数是 kmod_module_insert_module(mod, 0, opts); 这个函数在我们下面的函数接口分析中还会详细阐述。

rmmod 命令实现流程

do_rmmod 核心代码分析

下面我们来看看 do_rmmod() 函数实现中最核心的部分代码摘要。

```
do_rmmod()
{
    log_open(use_syslog);
    ctx = kmod_new(NULL, &null_config);
    log_setup_kmod_log(ctx, verbose);
    arg = argv[i];
    err = kmod_module_new_from_path(ctx, arg, &mod);
    err = kmod_module_new_from_name(ctx, arg, &mod);
    check_module_inuse(mod);
    err = kmod_module_remove_module(mod, flags);
    kmod_module_unref(mod);
    kmod_unref(ctx);
    log_close();
}
```

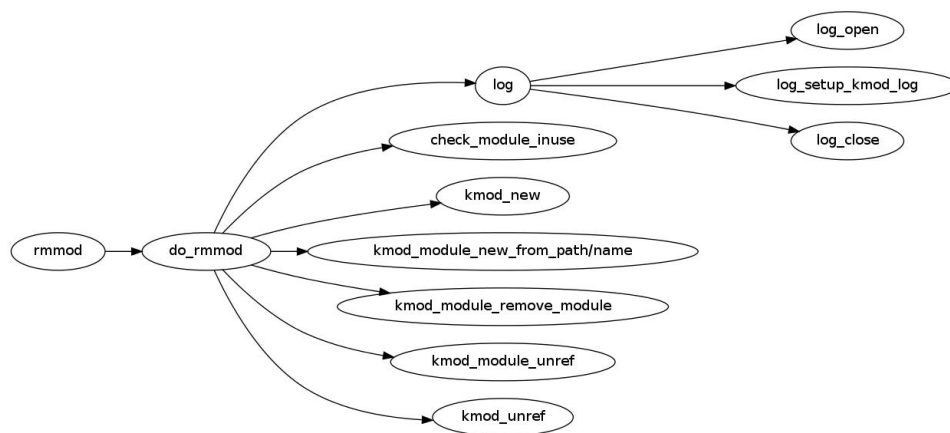


Figure 9: rmmmod 调用层次图

do_rmmmod() 的实现可以分为5个步骤

- 创建模块的上下文 struct kmod_ctx ctx
- 通过 filename 和 ctx 获得模块 struct kmod_module mod
- 将 mod 插入到当前模块列表中，完成真正的插入内核功能
- 释放 mod
- 释放 ctx

涉及到两个模块的5个接口，两个模块是

- libkmod/libkmod.c
 - kmod_new()
 - kmod_unref()
- libkmod/libkmod-module.c
 - kmod_module_new_from_path()
 - kmod_module_insert_module()
 - kmod_module_unref()

lsmod 命令实现流程

do_lsmod() 核心代码分析

```

static int do_lsmod(int argc, char *argv[])
{
    struct kmod_list *list, *itr;
    ctx = kmod_new(NULL, &null_config);
    err = kmod_module_new_from_loaded(ctx, &list);
    puts("Module          Size  Used by");

    kmod_list_foreach(itr, list) {
        struct kmod_module *mod = kmod_module_get_module(itr);
        const char *name = kmod_module_get_name(mod);
        int use_count = kmod_module_get_refcnt(mod);
        long size = kmod_module_get_size(mod);

        printf("%-19s %8ld  %d ", name, size, use_count);
        holders = kmod_module_get_holders(mod);
        kmod_list_foreach(hitr, holders) {
            struct kmod_module *hm = kmod_module_get_module(hitr);
            fputs(kmod_module_get_name(hm), stdout);
            kmod_module_unref(hm);
        }

        kmod_module_unref_list(holders);
        kmod_module_unref(mod);
    }
    kmod_module_unref_list(list);
    kmod_unref(ctx);

    return EXIT_SUCCESS;
}

```

lsmod 命令的实现代码中，最重要的一个调用，就是 `kmod_module_new_from_loaded`，这个函数主要通过分析 `/proc/modules` 文件的输出，将已经加载到内存中的内核模块按照 `kmod_list` 的数据结构，依次添加到 `list` 链表中，完成 `list` 中数据的组装。

后面的实现部分，主要是通过 `kmod_list_foreach` 的宏，遍历整个链表，取出每一个模块 `mod = kmod_module_get_module(itr)`，获得模块的名字 `name`，引用计数 `refcnt`，以及模块的大小 `size`，把这3个最重要的信息打印出来，并按照一定的格式进行显示输出。

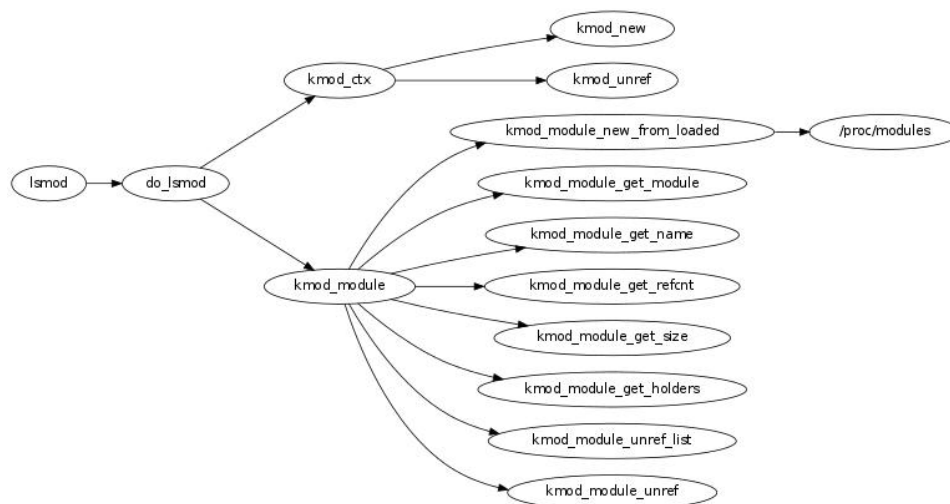


Figure 10: lsmmod 调用层次图

modinfo 命令实现流程

do_modinfo() 核心代码分析

```

static int do_modinfo(int argc, char *argv[])
{
    ctx = kmod_new(dirname, &null_config);

    for (i = optind; i < argc; i++) {
        const char *name = argv[i];
        if (is_module_filename(name))
            r = modinfo_path_do(ctx, name);
        else
            r = modinfo_alias_do(ctx, name);

        if (r < 0)
            err = r;
    }

    kmod_unref(ctx);
    return err >= 0 ? EXIT_SUCCESS : EXIT_FAILURE;
}
  
```

modinfo 命令中最重要的调用就是 modinfo_path_do 和 modinfo_alias_do

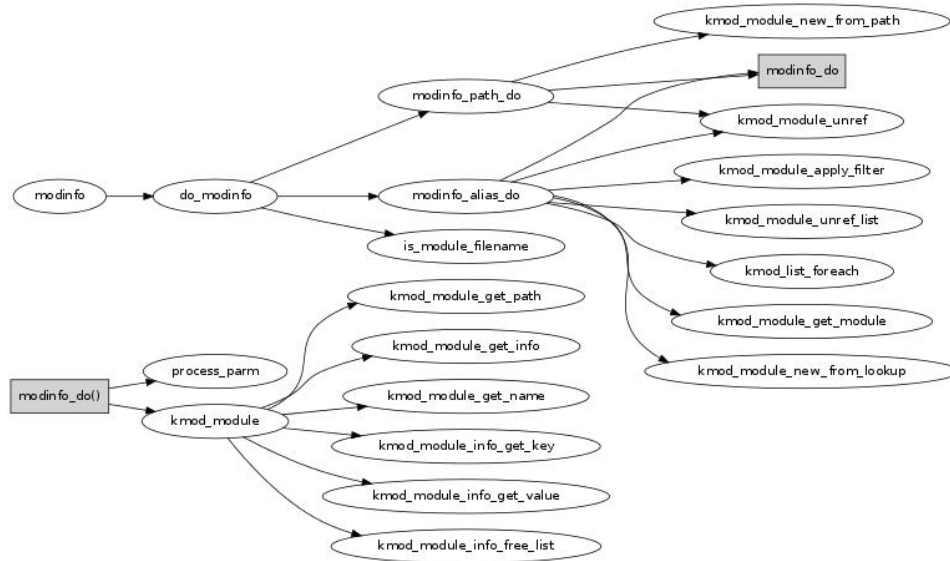


Figure 11: modinfo 调用层次图

，这2个接口，其中前者是直接根据模块的绝对路径来找到模块文件并读出其中的相关信息，后者是通过 alias 别名来查找到所有别名为 alias 的模块（可能1个，也可能是很多个），通过 modules.alias 文件中的别名和真实文件名的对应关系，找到所有对应的模块文件，并逐一显示每一个模块的信息。有关于此的操作，在上面的 modinfo 命令运行时调试图小节中已经阐述过，这里不再赘述。

```

static int modinfo_path_do(struct kmod_ctx *ctx, const char *path)
{
    struct kmod_module *mod;
    int err = kmod_module_new_from_path(ctx, path, &mod);
    err = modinfo_do(mod);
    kmod_module_unref(mod);
    return err;
}

static int modinfo_alias_do(struct kmod_ctx *ctx, const char *alias)
{
    struct kmod_list *l, *filtered, *list = NULL;
    int err = kmod_module_new_from_lookup(ctx, alias, &list);

    err = kmod_module_apply_filter(ctx, KMOD_FILTER_BUILTIN, list, &filtered);
    kmod_module_unref_list(list);
}

```

```

kmod_list_foreach(l, filtered) {
    struct kmod_module *mod = kmod_module_get_module(l);
    int r = modinfo_do(mod);
    kmod_module_unref(mod);
    if (r < 0)
        err = r;
}
kmod_module_unref_list(filtered);
return err;
}

```

从上面的代码可以看出，通过 `modinfo_path_do` 只会找到一个 `mod` 进行输出，而通过 `modinfo_alias_do` 会根据 `alias` 找到一个 `mod` 的 `list` 然后逐一输出。无论那种方式，最终都是调用 `modinfo_do` 来对单个模块 `mod` 的信息进行输出，因此 `modinfo_do` 可以看成是实现 `modinfo` 命令的核心函数，从调用层次图中不难看出，这个函数主要使用了 `kmod_module` 模块提供的各种 `get` 功能调用来完成对模块信息的提取。在后面的核心代码分析章节中，我们会对这个函数 `modinfo_do` 来进行详细的分析。

depmod 命令实现流程

`do_depmod()` 核心代码分析

```

do_depmod(int argc, char *argv[])
{
    out = stdout;
    ctx = kmod_new(cfg.dirname, &null_kmod_config);

    err = depmod_init(&depmod, &cfg, ctx);
    err = depmod_load_symvers(&depmod, module_symvers);
    err = depmod_load_system_map(&depmod, system_map);
    err = cfg_load(&cfg, config_paths);
    err = depmod_modules_search(&depmod);
    err = kmod_module_new_from_path(depmod.ctx, path, &mod);
    err = depmod_module_add(&depmod, mod);
    err = depmod_modules_build_array(&depmod);
    depmod_modules_sort(&depmod);
    err = depmod_load(&depmod);
}

```

```

err = depmod_output(&depmod, out);
depmod_shutdown(&depmod);
cfg_free(&cfg);
kmod_unref(ctx);
}

```



Figure 12: depmod 调用层次图

do_depmod() 的实现可以分为7个步骤

- 创建模块的上下文 struct kmod_ctx ctx
- 调用 depmod_xxx 接口，完成从 /lib/modules/uname -r 目录下找到所有模块

- 调用 `kmod_module_new_from_path` 接口，生成动态的 `mod`
- 调用 `dep_module_add` 和 `dep_modules_build_array`，生成数组 `array`
- 调用 `dep_modules_sort` 接口，对 `array` 进行排序
- 调用 `depmod_output` 接口，对排序后的结果，进行文件输出
- 释放相关的动态分配内存，结束 `depmod` 操作

下面根据这个核心代码，将在一层逻辑过程中调用到的函数，做一个简要的说明。所有这些函数可以分为3类，分别形如 `kmod_xxx`，`depmod_xxx`，`cfg_xxx` 开头的。

`kmod_xxx` 包含 `kmod_new`，`kmod_module_new_from_path`，`kmod_unref` 这3个在之前的代码分析中介绍过。其中用到了3个接口，分别是

- `libkmod/libkmod.c`
 - `kmod_new()`
 - `kmod_unref()`
- `libkmod/libkmod-module.c`
 - `kmod_module_new_from_path()`

另外，在当前文件内部，还构建了两个新的子模块 `depmod` 和 `cfg * tools/depmod.c - depmod_xxx - cfg_xxx`

`depmod_xxx` 这些函数都被声明为 `static` 的类型，说明仅仅只是为 `depmod` 命令的实现而服务的，不属于 `libkmod` 库要提供的接口。* `depmod` 内部子模块上层接口 - `depmod_init` - `depmod_load_symvers` - `depmod_load_system_map` - `depmod_modules_search` - `depmod_module_add` - `depmod_modules_build_array` - `depmod_modules_sort` - `depmod_shutdown`

- 围绕上面这些函数，还需要调用到如下接口

```
static int depmod_init(struct depmod *depmod, struct cfg *cfg,
struct kmod_ctx *ctx) { array_init(&depmod->modules, 128);
```

```
depmod->modules_by_uncrelpath = hash_new(512, NULL);
depmod->modules_by_name = hash_new(512, NULL);
depmod->symbols = hash_new(2048, (void *)
(void *)symbol_free);
```

```

hash_free(depmod->modules_by_name);
hash_free(depmod->modules_by_uncrelpath);

return err;

```

```

}

static int depmod_load_symvers(struct depmod *depmod, const
char *filename) { fp = fopen(filename, ``r''); while
(fgets(line, sizeof(line), fp) != NULL) { ver = strtok(line,
" ");

```

```

depmod_symbol_add(depmod, sym, crc, NULL);
depmod_add_fake_syms(depmod);

fclose(fp);
return 0;

```

```

}

static int depmod_load_system_map(struct depmod *depmod,
const char *filename) { fp = fopen(filename, ``r''); while
(fgets(line, sizeof(line), fp) != NULL) { p = strchr(line,
' '); depmod_symbol_add(depmod, p + ksymstr_len, 0, NULL);
depmod_add_fake_syms(depmod); fclose(fp); return 0; }

static int depmod_modules_search(struct depmod *dep-
mod) { DIR *d = opendir(depmod->cfg->dirname); err
= depmod_modules_search_dir(depmod, d, baselen, path);
closedir(d); return err; }

static int depmod_module_add(struct depmod *depmod, struct
kmod_module *kmod) { modname = kmod_module_get_name(kmod);

```

```

mod = calloc(1, sizeof(struct mod) + modnamelen);

array_init(&mod->deps, 4);

err = hash_add_unique(depmod->modules_by_name, mod->modname, mod);

return 0;

```

```

}

static int depmod_modules_build_array(struct depmod *depmod)
{ hash_iter_init(depmod->modules_by_name, &module_iter);

```

```

while (hash_iter_next(&module_iter, NULL, &v)) {
    struct mod *mod = (struct mod *) v;
    mod->idx = depmod->modules.count;
    err = array_append(&depmod->modules, mod);
    if (err < 0)
        return err;
}
return 0;

```

```

}

static void depmod_modules_sort(struct depmod *depmod)
{  snprintf(order_file,  sizeof(order_file),  `` %s/ mod-
modules.order'', depmod->cfg->dirname); fp = fopen(order_file,
``r'');

```

```

while (fgets(line, sizeof(line), fp) != NULL) {
    mod = hash_find(depmod->modules_by_uncrelpath, line);
}

array_sort(&depmod->modules, mod_cmp);

for (idx = 0; idx < depmod->modules.count; idx++) {
    struct mod *m = depmod->modules.array[idx];
    m->idx = idx;
}

```

```

}

static void depmod_shutdown(struct depmod *depmod) {
hash_free(depmod->symbols);

```

```

hash_free(depmod->modules_by_uncrelpath);

hash_free(depmod->modules_by_name);

```

```

        for (i = 0; i < depmod->modules.count; i++)
            mod_free(depmod->modules.array[i]);

        array_free_array(&depmod->modules);

        kmod_unref(depmod->ctx);

    }

cfg_xxx

static int cfg_load(struct cfg *cfg, const char * const *cfg_paths)
{
    for (i = 0; cfg_paths[i] != NULL; i++)
        cfg_files_list(&files, &n_files, cfg_paths[i]);

    for (i = 0; i < n_files; i++) {
        struct cfg_file *f = files[i];
        cfg_file_parse(cfg, f->path);
        cfg_file_free(f);
    }
    free(files);

    if (cfg->searches == NULL)
        cfg_search_add(cfg, "updates", 0);

    return 0;
}

static void cfg_free(struct cfg *cfg)
{
    while (cfg->overrides) {
        struct cfg_override *tmp = cfg->overrides;
        cfg->overrides = cfg->overrides->next;
        cfg_override_free(tmp);
    }

    while (cfg->searches) {
        struct cfg_search *tmp = cfg->searches;

```



```

        cfg->searches = cfg->searches->next;
        cfg_search_free(tmp);
    }
}

```

在 depmod.c 文件的实现中，depmod_output 负责最后各类文件的输出功能。

```

2161 static int depmod_output(struct depmod *depmod, FILE *out)
2162 {
2163     static const struct depfile {
2164         const char *name;
2165         int (*cb)(struct depmod *depmod, FILE *out);
2166     } *itr, depfiles[] = {
2167         { "modules.dep", output_deps },
2168         { "modules.dep.bin", output_deps_bin },
2169         { "modules.alias", output_aliases },
2170         { "modules.alias.bin", output_aliases_bin },
2171         { "modules.softdep", output_softdeps },
2172         { "modules.symbols", output_symbols },
2173         { "modules.symbols.bin", output_symbols_bin },
2174         { "modules.builtin.bin", output_builtin_bin },
2175         { "modules.devname", output_devname },
2176         { }
2177     };

```

其中输出到 /lib/modules/3.2.0-29-generic-pae/modules.dep 文件的输出函数是 output_deps 通过修改如下 fprintf(out, ...) 函数，增添输出到标准输出 stdout 的 fprintf(stdout, ...) 则可以在屏幕上看到运行 depmod 命令时候的全部输出结果，这个结果和 modules.dep 文件中的内容是完全一样的。

```

1790 static int output_deps(struct depmod *depmod, FILE *out)
1791 {
1792     size_t i;
1793

```

```

1794         for (i = 0; i < depmod->modules.count; i++) {
1795             const struct mod **deps, *mod = depmod->modules.array[i];
1804             fprintf(out, "%s:", p);
1805             fprintf(stdout, "%s:", p);
1824             fprintf(out, " %s", mod_get_compressed_path(d));
1825             fprintf(stdout, " %s", mod_get_compressed_path(d));
1828         end:
1829             putc('\n', out);
1830             putc('\n', stdout);
1834 }

```

总的来说，depmod 命令的实现，并没有太多依赖于 libkmod 库所提供的接口，而是自己内部实现了2个子模块来完成。其中 depmod_xxx 模块主要完成分析模块文件之间关系，形成依赖列表，并将这个依赖列表写入到所需要的文件中。cfg_xxx 模块主要完成对 cfg 配置文件的分析，

modprobe 命令实现流程

do_modprobe() 核心代码分析

```

do_modprobe(int argc, char *argv[])
{
    log_open(use_syslog);

    snprintf(dirname_buf, sizeof(dirname_buf), "%s/lib/modules/
%s", root, kversion);
    dirname = dirname_buf;

    ctx = kmod_new(dirname, config_paths);

    log_setup_kmod_log(ctx, verbose);
    kmod_load_resources(ctx);

    if (do_xxx)

```

```

    err = show_config(ctx);
    err = show_modversions(ctx, args[0]);
    err = insmod_all(ctx, args, nargs);
    err = rmmmod_all(ctx, args, nargs);

    err = options_from_array(args, nargs, &opts);
    err = insmod(ctx, args[0], opts);

    kmod_unref(ctx);

    log_close();
}

```

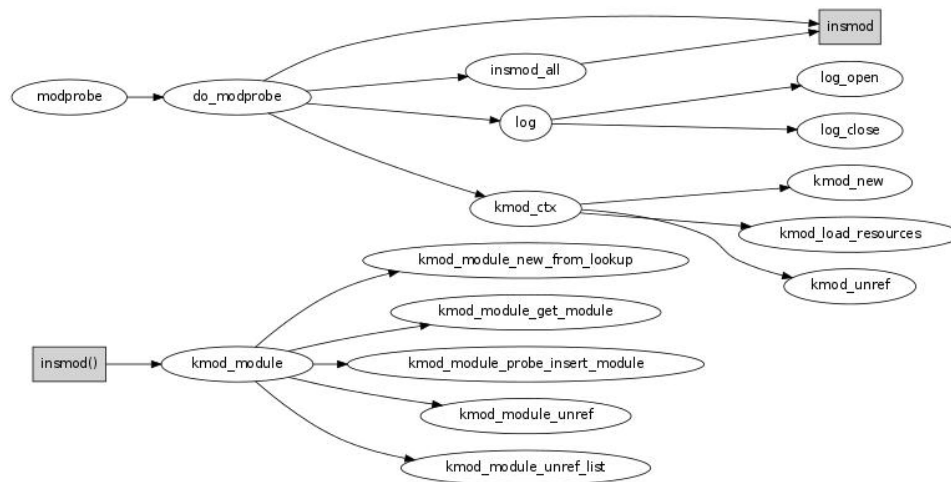


Figure 13: modprobe 调用层次图

从上面的代码分析可以看出，modprobe 主要是依靠 insmod_all 和 insmod 两个子函数来完成加载内核模块的。而 insmod_all 这个函数其实也是靠一个 for 循环来调用 insmod 完成加载全部模块的操作。因此只要分析清楚 insmod 函数，就能够理解整个 modprobe 函数的实现原理。

```

static int insmod_all(struct kmod_ctx *ctx, char **args, int nargs)
{
    for (i = 0; i < nargs; i++)
        err = insmod(ctx, args[i], NULL);
}

```

```

    return err;
}

```

```

insmod_all()

```

```

insmod() static int insmod(struct kmod_ctx *ctx, const char *alias,
const char *extra_options) { struct kmod_list *l, *list = NULL; int
err, flags = 0;

```

```

    void (*show)(struct kmod_module *m, bool install,
                  const char *options) = NULL;

    err = kmod_module_new_from_lookup(ctx, alias, &list);

    kmod_list_foreach(l, list) {
        struct kmod_module *mod = kmod_module_get_module(l);

        if (lookup_only)
            printf("%s\n", kmod_module_get_name(mod));
        else {
            err = kmod_module_probe_insert_module(mod, flags,
            extra_options, NULL, NULL, show);
        }

        kmod_module_unref(mod);
    }

    kmod_module_unref_list(list);
    return err;

```

```

}

```

从上面的代码分析可以看出，insmod 函数是依靠调用 kmod_module_probe_insert_module() 来完成模块加载的。为什么这里的 insmod 没有调用之前分析过的 kmod_module_insert_module() 来实现呢？是因为 kmod_module_insert_module() 只负责插入当前这个 .ko 内核模块，并不负责检查依赖关系。而这里的 insmod 是需要根据当前 .ko 的依赖关系列表，决定要把多少个 .ko 依次

一起插入进来。所以 `kmod_module_probe_insert_module()` 是可以完成根据依赖关系插入模块的 `libkmod` 中的重要接口。

当然这两个函数之间也是有相互关系的，表现为 `kmod_module_probe_insert_module()` 函数会调用 `kmod_module_insert_module()`，而在此之前，还需要通过 `kmod_module_get_probe_list()` 函数来得到一个 `probe_list` 也就是加载模块列表。

```
int kmod_module_probe_insert_module(mod, flags, extra_options, run_install)
{
    err = kmod_module_get_probe_list(mod,    !!
(flags & KMOD_PROBE_IGNORE_COMMAND), &list);

    kmod_list_foreach(l, list)
    {
        struct kmod_module *m = l->data;
        err = kmod_module_insert_module(m, flags, options);
    }
}
```

`kmod_module_probe_insert_module`

5. 函数接口分析

`kmod_new()` 核心代码分析

```
kmod_ctx *kmod_new(char *dirname, char *config_paths)
{
    ctx = calloc(1, sizeof(struct kmod_ctx));
    ctx->dirname = get_kernel_release(dirname);
    err = kmod_config_new(ctx, &ctx->config, config_paths);
    ctx->modules_by_name = hash_new(KMOD_HASH_SIZE, NULL);

    return ctx;
}
```

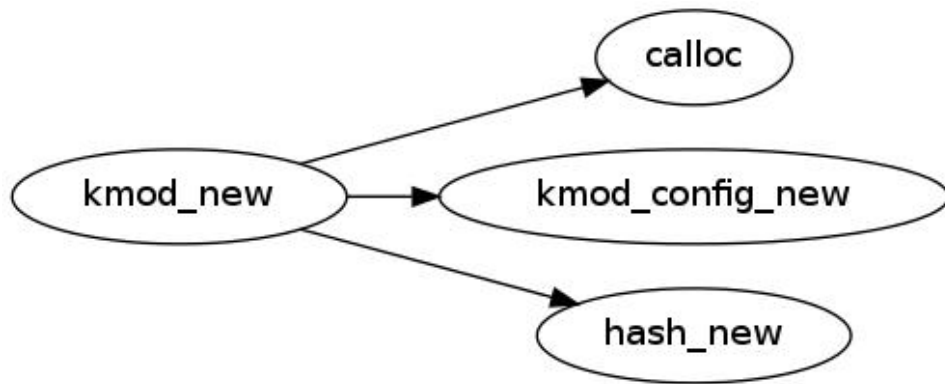


Figure 14: kmod_new 调用层次图

kmod_unref() 核心代码分析

```

kmod_ctx *kmod_unref(kmod_ctx *ctx)
{
    kmod_unload_resources(ctx);
    hash_free(ctx->modules_by_name);
    kmod_config_free(ctx->config);
    free(ctx);

    return NULL;
}
  
```

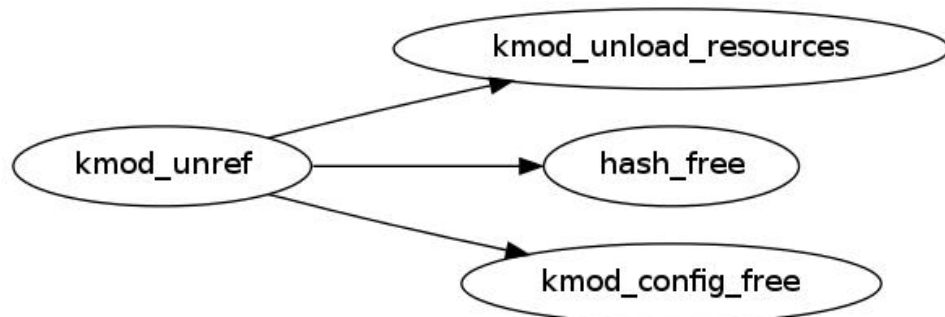


Figure 15: kmod_unref 调用层次图

kmod_module_new_from_path() 核心代码分析

```
int kmod_module_new_from_path(kmod_ctx *ctx, char *path, kmod_module **mod)
{
    path_to_modname(path, name, &namelen);
    m = kmod_pool_get_module(ctx, name);
    kmod_module_ref(m);
    err = kmod_module_new(ctx, name, name, namelen, NULL, 0, &m); *
    *mod = m;
    return 0;
}
```

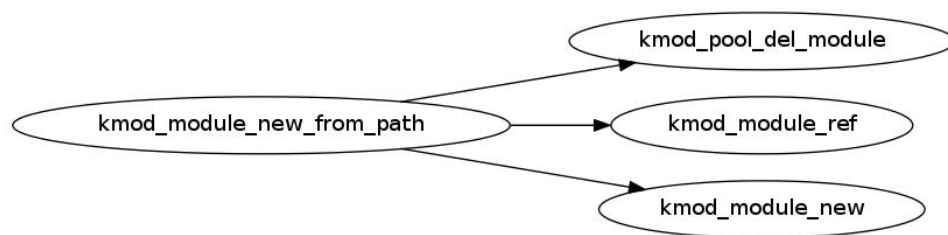


Figure 16: kmod_module_new_from_path 调用层次图

kmod_module_insert_module() 核心代码分析

```
int kmod_module_insert_module(kmod_module *mod, int flags, char *options)
{
    path = kmod_module_get_path(mod);
    file = kmod_file_open();
    size = kmod_file_get_size(file);
    mem = kmod_file_get_contents(file);
    elf = kmod_elf_new(mem, size);
    kmod_elf_strip_section(elf);
    mem = kmod_elf_get_memory(elf);
    init_module(mem, size, args);
    kmod_elf_unref(elf);
    kmod_file_unref(file);
}
```

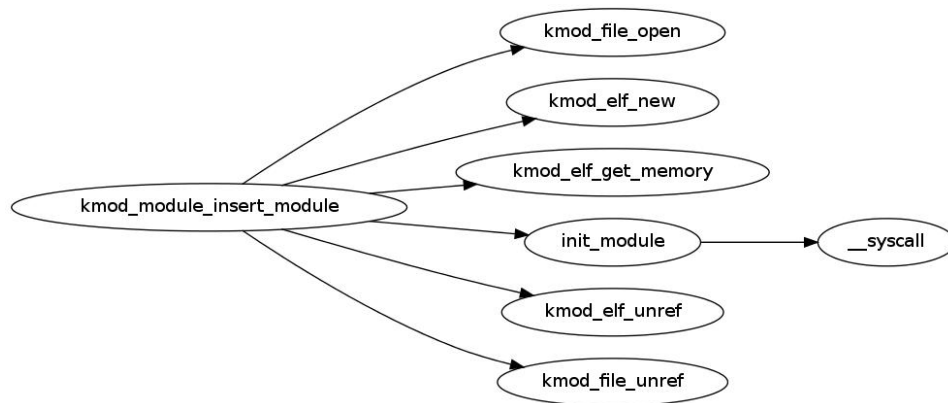


Figure 17: kmod_module_insert_module 调用层次图

kmod_module_unref() 核心代码分析

```

kmod_module *kmod_module_unref(kmod_module *mod)
{
    --mod->refcount;

    kmod_pool_del_module(mod->ctx, mod, mod->hashkey);
    kmod_module_unref_list(mod->dep);
    kmod_file_unref(mod->file);
    kmod_unref(mod->ctx);

    return NULL;
}

```

init_module() 核心代码分析

```

long init_module(void *mem, unsigned long len, const char *args)
{
    kmod_elf *elf = kmod_elf_new(mem, len);

    err = kmod_elf_get_section(elf, ".gnu.linkonce.this_module", &buf, &bufsize);
    kmod_elf_unref(elf);
    mod = find_module(modules, modname);
    if(mod != NULL)

```

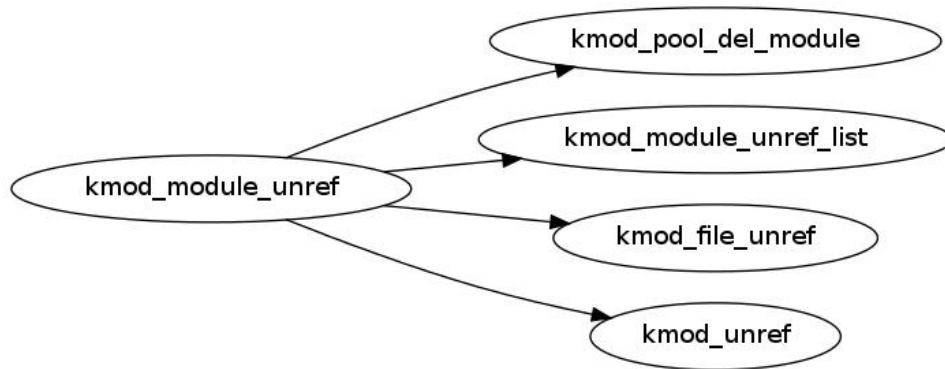



Figure 18: kmod_module_unref 调用层次图

```

{
} else if (module_is_inkernel(modname))
{
} else
    create_sysfs_files(modname);

return err;
}

```

do_rmmod() 核心代码分析

```

do_rmmod(int argc, char *argv[])
{
    flags = argv[x];    // -f, -w,
    ctx = kmod_new(NULL, &null_config);
    err = kmod_module_new_from_path(ctx, filename, &mod);
    err = kmod_module_remove_module(mod, flags);
    kmod_module_unref(mod);
    kmod_unref(ctx);
}

```

kmod_module_remove_module() 核心代码分析

```
int kmod_module_remove_module(kmod_module *mod, int flags)
{
    err = delete_module(mod->name, flags);

    return err;
}
```

delete_module() 核心代码分析

```
long init_module(void *mem, int flags)
{
    struct mod *mod;

    mod = find_module(modules, modname);

    return mod->ret;
}
```

kmod_module_new_from_loaded 核心代码分析

```
KMOD_EXPORT int kmod_module_new_from_loaded(struct kmod_ctx *ctx,
                                             struct kmod_list **list)
{
    struct kmod_list *l = NULL;
    FILE *fp;
    char line[4096];

    if (ctx == NULL || list == NULL)
        return -ENOENT;

    fp = fopen("/proc/modules", "re");

    while (fgets(line, sizeof(line), fp)) {
```

```

    struct kmod_module *m;
    struct kmod_list *node;
    int err;
    char *saveptr, *name = strtok_r(line, " \t", &saveptr);

    err = kmod_module_new_from_name(ctx, name, &m);

    node = kmod_list_append(l, m);
    if (node)
        l = node;
    else {
        ERR(ctx, "out of memory\n");
        kmod_module_unref(m);
    }
}

fclose(fp);
*list = l;

return 0;
}

```

kmod_module_new_from_lookup 核心代码分析

```

KMOD_EXPORT int kmod_module_new_from_lookup(struct kmod_ctx *ctx,
                                           const char *given_alias,
                                           struct kmod_list **list)
{
    int err;
    char alias[PATH_MAX];
    if (alias_normalize(given_alias, alias, NULL) < 0) {
        DBG(ctx, "invalid alias: %s\n", given_alias);
        return -EINVAL;
    }

    /* Aliases from config file override all the others */
    err = kmod_lookup_alias_from_config(ctx, alias, list);
    err = kmod_lookup_alias_from_moddep_file(ctx, alias, list);
    err = kmod_lookup_alias_from_symbols_file(ctx, alias, list);
}

```

```

    err = kmod_lookup_alias_from_commands(ctx, alias, list);
    err = kmod_lookup_alias_from_aliases_file(ctx, alias, list);
    err = kmod_lookup_alias_from_builtin_file(ctx, alias, list);

    return err;
}

```

modinfo_do 核心代码分析

```

static int modinfo_do(struct kmod_module *mod)
{
    struct kmod_list *l, *list = NULL;
    struct param *params = NULL;

    printf("%s%c", kmod_module_get_path(mod), separator);
    err = kmod_module_get_info(mod, &list);
    kmod_module_get_name(mod, strerror(-err));

    kmod_list_foreach(l, list) {
        const char *key = kmod_module_info_get_key(l);
        const char *value = kmod_module_info_get_value(l);

        process_parm(key, value, &params);

        printf("%s: %- *s %s
%c", key, 15 - keylen, "", value, separator);
    }

    kmod_module_info_free_list(list);

    return err;
}

```

kmod_module_probe_insert_module

```

int kmod_module_probe_insert_module(mod, flags, extra_options, run_install)

```

```

{
    err = kmod_module_get_probe_list(mod,    !!
(flags & KMOD_PROBE_IGNORE_COMMAND), &list);

    kmod_list_foreach(l, list)
    {
        struct kmod_module *m = l->data;
        err = kmod_module_insert_module(m, flags, options);
    }
}

```

kmod_module_get_probe_list 函数调用流程

```

-> kmod_module_get_probe_list
    -> __kmod_module_get_probe_list
        -> kmod_module_get_dependencies
            -> module_get_dependencies_noref
                -> kmod_module_parse_depline

```

```

kmod_list *kmod_module_get_dependencies(struct kmod_module *mod)
{
    module_get_dependencies_noref(mod);

    kmod_list_foreach(l, mod->dep)
    {
        l_new = kmod_list_append(list_new, kmod_module_ref(l->data));
        list_new = l_new;
    }

    return list_new;
}

```

kmod_module_get_dependencies

```

kmod_list *module_get_dependencies_noref(struct kmod_module *mod)
{
    char *line = kmod_search_moddep(mod->ctx, mod->name);

    kmod_module_parse_depline(mod, line);

    return mod->dep;
}

```

module_get_dependencies_noref

```

char *kmod_search_moddep(struct kmod_ctx *ctx, const char *name)
{
    // name = nfs;          // modprobe nfs
    return index_mm_search(ctx->indexes[KMOD_INDEX_MODULES_DEP], name);

    DBG(ctx, "file=%s modname=%s\n", fn, name);

    idx = index_file_open(fn);
    line = index_search(idx, name);
    index_file_close(idx);

    return line;
}

```

kmod_search_moddep

```

int kmod_module_parse_depline(struct kmod_module *mod, char *line)
{
    for (p = strtok_r(p, " \t", &saveptr); p != NULL;
         p = strtok_r(NULL, " \t", &saveptr))
    {
        err = kmod_module_new_from_path(ctx, path, &depmod);
    }
}

```

```
        list = kmod_list_prepend(list, depmod);
        n++;
    }

    mod->dep = list;
    mod->n_dep = n;

    return n;
}
```

kmod_module_parse_depline