

一、简介

- **LuatOS NDK定义**

LuatOS NDK(Native Development Kit, 以下简称为NDK)是一种本地化接口（芯片硬件提供的原始接口）开发工具集。可以简单的理解为 **使用C/C++开发的接口，可以在lua上直接调用**。对于商用的LuatOS系统，Lua虚拟机部分是闭源的，用户无法直接集成C/C++代码。NDK正是针对这一场景提供的解决方案，开发简单，容易上手，无需过多关注本地化实现部分。

- **应用场景**

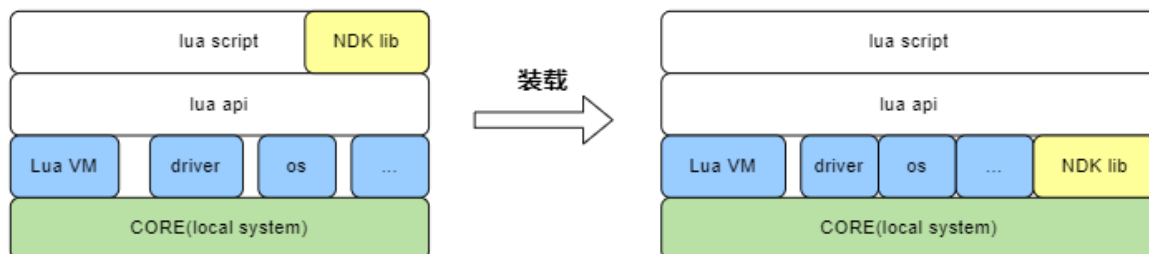
NDK主要针对LuatOS闭源版本（例如LuatOS-Air/LuatOS-HMI/LuatOS-iRTU等)的以下几种场景：

- lua语言运行效率达不到要求，需要用C/C++这类底层语言。
- 已有成熟的C/C++代码需要集成到LuatOS中。
- 希望关键代码能够受到保护，避免lua容易被反编译的风险。
- 向第三方提供闭源lib库。

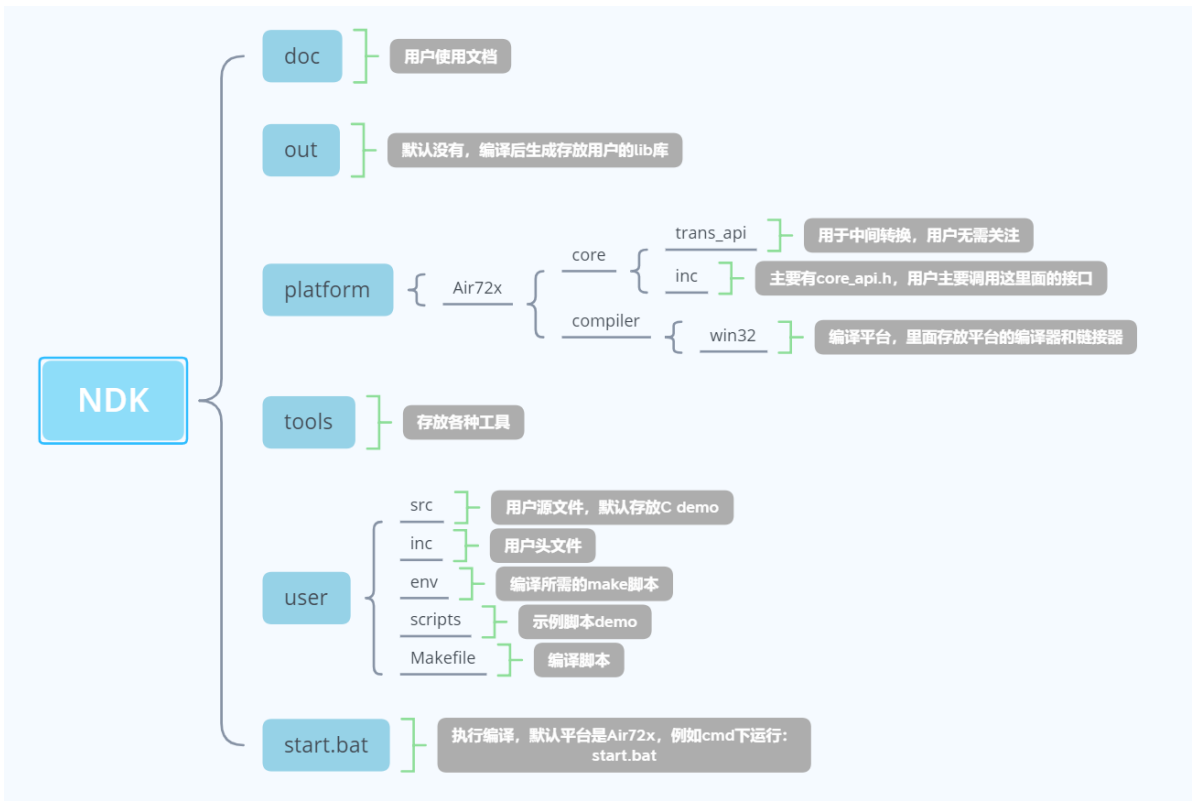
当然开源版本的LuatOS理论上也可以使用，不过针对开源版本，更建议直接将库源码放到LuatOS源码中构建编译。

- **原理介绍**

用户使用NDK将C代码编译成lib库后，和lua脚本文件一起打包下载到硬件中。LuatOS系统将lib库动态加载到内存中运行，并将lib库中提供的API接口注册到系统中。这样lua脚本就可以通过dl模块进行加载，并使用这类接口。



二、目录说明



三、接口说明

dl.open

加载静态库并执行入口函数

- 语法

```
handle = dl.open(lib,main)
```

- 参数

传入值	释义
lib	lib库所在的路径。如：/lua/user.lib
main	lib库的入口函数

- 返回值

handle: 库的句柄

dl.close

卸载动态库

- 语法

```
dl.close(handle)
```

- 参数

传入值	释义
handle	打开库返回的句柄

- 返回值
nil

MSG_DL_INFO

lib库消息上报

- 语法

```
local function dl_msg_pro(msg)
    print(msg.msg,msg.num,msg.data,msg.result)
end

rtos.on(rtos.MSG_DL_INFO, dl_msg_pro)
```

luaL_checklstring

获取字符串类型参数

- 语法

```
const char *luaL_checklstring (void *L, int narg, size_t *len)
```

- 参数

传入值	释义
L	状态机句柄
narg	参数索引
len	获取字符串参数的长度

- 返回值
const char*类型的字符串

luaL_checkinteger

获取lua_Integer类型参数

- 语法

```
lua_Integer *luaL_checkinteger (void *L, int narg)
```

- 参数

传入值	释义
L	状态机句柄
narg	参数索引

- 返回值
lua_Integer类型的数值

lua_pushstring

返回字符串类型参数

- 语法

```
void lua_pushstring (lua_State *L, const char *s)
```

- 参数

传入值	释义
L	状态机句柄
s	const char*类型字符串

- 返回值

无

lua_pushnumber

返回lua_Integer类型参数

- 语法

```
void lua_pushnumber (lua_State *L, lua_Number n)
```

- 参数

传入值	释义
L	状态机句柄
n	lua_Number类型数值

- 返回值

无

lua_pushinteger

返回lua_Integer类型参数

- 语法

```
void lua_pushinteger (lua_State *L, lua_Integer n)
```

- 参数

传入值	释义
L	状态机句柄
n	lua_Integer类型数值

- 返回值

无

四、使用说明

1. 编译core版本

通过http://erp.openluat.com/firm_customized服务器定制支持NDK功能的固件，版本号>=3209

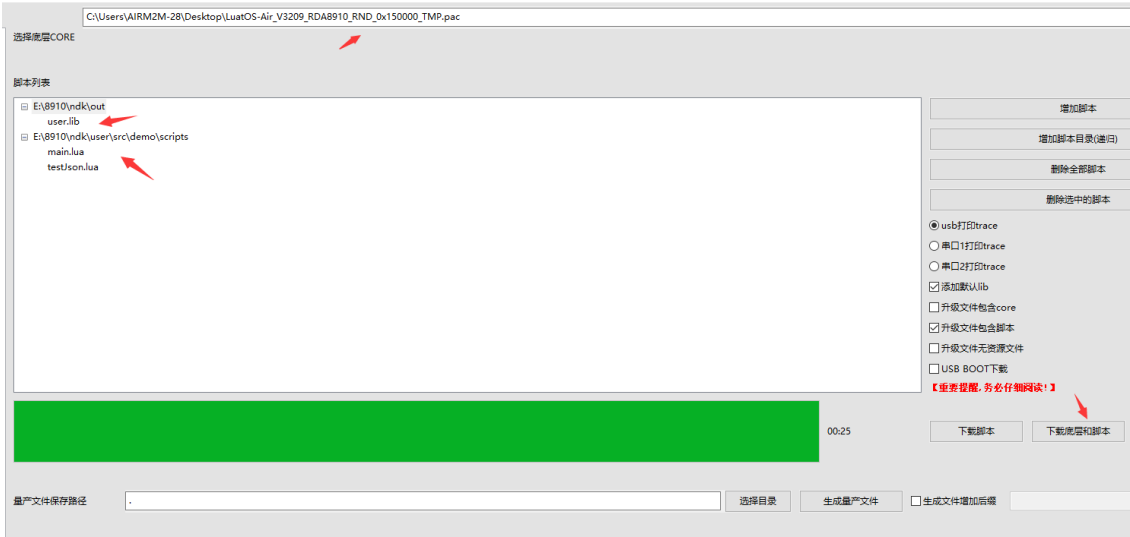
2. 编译NDK版本

根据core版本是否支持float功能，选择对应的编译方式。编译结束会在out目录下生成user.lib

float版本编译：start.bat FLOAT

非float版本编译：start.bat

3. 下载固件



4. 运行结果

```
fun3 exe number=21 4
fun4 exe string=test
test_print is ok
ret_number 21
ret_string test
ret1_string test user string param = 123456789 9
ret2_number 1000
ret3_boolean true
table return: 100 table return false
-----
[I]-[testJson.encode cJSON ] table: 0x80bc3958
[I]-[testJson.encode] {"KEY6": [1,2,3], "KEY3": "VALUE3", "KEY4": "VALUE4", "KEY2": "VALUE2", "KEY1": "VALUE1", "KEY5": {"KEY5_2": "VALU5_2", "KEY5_1": "VALU5_1"}}
[I]-[testJson.decode KEY1] VALUE1
[I]-[testJson.decode KEY2] VALUE2
[I]-[testJson.decode KEY3] VALUE3
[I]-[testJson.decode KEY4] VALUE4
[I]-[testJson.decode KEY5] VALU5_1 VALU5_2
[I]-[testJson.decode KEY6] 1 2 3|
```

五、代码示例

添加RTT COREMARK:RT-Thread 上的 MCU/CPU 性能测试小工具

- 下载代码

链接：<https://github.com/RT-Thread/rtthread-apps.git>

本地磁盘 (G:) > rtthread-apps > coremark				
名称	修改日期	类型	大小	
core_list_join.c	2022/1/11 19:42	C Source	15 KB	
core_main.c	2022/1/12 16:01	C Source	13 KB	
core_matrix.c	2022/1/11 19:42	C Source	9 KB	
core_portme.c	2022/1/11 19:42	C Source	5 KB	
core_portme.h	2022/1/11 19:42	C Header 源文件	7 KB	
core_state.c	2022/1/11 19:42	C Source	8 KB	
core_util.c	2022/1/11 19:42	C Source	6 KB	
coremark.h	2022/1/11 19:42	C Header 源文件	5 KB	
main.c	2022/1/12 16:01	C Source	1 KB	
README.md	2022/1/11 19:42	Markdown File	22 KB	

• 移植coremark代码

1. 在ndk user\src\demo\lib\路径下创建coremark文件夹。
2. 将core_list_join.c core_main.c core_matrix.c core_portme.c core_state.c coremark.h移到 user\src\demo\lib\coremark目录下
3. user\src\demo\lib\coremark目录下添加makefile文件，将coremark里面的c代码参与编译,内容如下:

```
DIRS :=
SRCS := $(wildcard *.c)
INCS :=

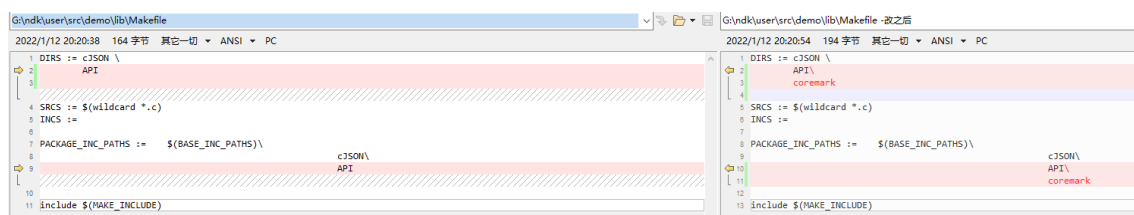
PACKAGE_INC_PATHS := $(BASE_INC_PATHS)
BASE_INC_PATHS +=
export BASE_INC_PATHS
include $(MAKE_INCLUDE)
```

user\src\demo\lib\coremark目录如下所示:

本地磁盘 (G:) > ndk > user > src > demo > lib > coremark				
名称	修改日期	类型	大小	
core_list_join.c	2022/1/12 15:18	C Source	15 KB	
core_main.c	2022/1/12 19:31	C Source	13 KB	
core_matrix.c	2022/1/12 15:25	C Source	9 KB	
core_state.c	2022/1/11 19:42	C Source	8 KB	
core_util.c	2022/1/12 19:31	C Source	6 KB	
coremark.h	2022/1/12 19:35	C Header 源文件	5 KB	
Makefile	2022/1/11 20:27	文件	1 KB	

4. 修改user\src\demo\lib目录下的makefile，将coremark加入编译工程中修改如下所示:

左边是修改前，右边是修改后



5. 运行ndk下start.bat.

运行结果如下所示，coremark代码已经参与编译了，但是还有很多错误

```

coremark.h:39:10: fatal error: rtthread.h: No such file or directory
#include "rtthread.h"
compilation terminated.
G:\ndk\platform\Air72x\compiler\win32\gcc-arm-none-eabi\bin\arm-none-eabi-gcc.exe -mcpu=cortex-a5 -mtune=generic-armv7-a
-mfpu=neon-vfpv4 -mthumb -mfloat-abi=hard -mno-unaligned-access -g -Os -Wall -std=c11 -c -IG:\ndk/user/.include -DLUA
A_CORE -DLUA_USE_NTK_NUCLEUS core_list_join.c -o core_list_join.o
In file included from core_list_join.c:19:0:
coremark.h:39:10: fatal error: rtthread.h: No such file or directory
#include "rtthread.h"
compilation terminated.
gnumake[4]: *** [core_list_join.o] 错误 1
gnumake[4]: Leaving directory `G:/ndk/user/src/demo/lib/coremark'
gnumake[3]: *** [coremark] 错误 2
gnumake[3]: Leaving directory `G:/ndk/user/src/demo/lib'
gnumake[2]: *** [lib] 错误 2
gnumake[2]: Leaving directory `G:/ndk/user/src/demo'
gnumake[1]: *** [demo] 错误 2
gnumake[1]: Leaving directory `G:/ndk/user/src'
gnumake: *** [src] 错误 2
系统找不到指定的文件。

```

6. 添加rtthread.h文件，并解决编译错误：(注：下方截图右边都是修改后的)

- core_list_join.c core_matrix.c core_state.c core_util.c不做任何修改
- core_main.c 修改如下：

```

23 #include <rtthread.h>
346 个开闭行

```

- coremark.h 修改如下：

```

38 #include "core_portme.h"
38 // #include "rtthread.h"
76 secs_ret time_in_secs(CORE_TICKS ticks);
905 个开闭行

```

- 其余的所有适配都放到rtthread.h. 结果如下所示

此电脑 > 本地磁盘 (G:) > ndk > user > src > demo > lib > coremark

名称	修改日期	类型	大小
core_list_join.c	2022/1/12 15:18	C Source	15 KB
core_main.c	2022/1/12 19:31	C Source	13 KB
core_matrix.c	2022/1/12 15:25	C Source	9 KB
core_state.c	2022/1/11 19:42	C Source	8 KB
core_util.c	2022/1/12 19:31	C Source	6 KB
coremark.h	2022/1/12 19:35	C/C++ Header	5 KB
Makefile	2022/1/11 20:27	文件	1 KB
rtthread.h	2022/1/12 19:36	C/C++ Header	3 KB

- 再次编译start.bat文件，生成了user.lib 结果如下：

```

C:\Windows\System32\cmd.exe
已复制 1 个文件。
已复制 1 个文件。
已复制 1 个文件。
已复制 1 个文件。
gnumake[4]: Leaving directory `G:/ndk/user/src/demo/lib/coremark'
gnumake[3]: Leaving directory `G:/ndk/user/src/demo/lib'
gnumake[2]: Leaving directory `G:/ndk/user/src/demo'
gnumake[1]: Leaving directory `G:/ndk/user/src'
G:\ndk\platform\Air72x\compiler\win32\gcc-arm-none-eabi\bin\arm-none-eabi-ld.exe -r out\obj\c_to_luaLib_test.o out\obj\c
ore_api.o out\obj\core_list_join.o out\obj\core_main.o out\obj\core_matrix.o out\obj\core_state.o out\obj\core_util.o ou
t\obj\fpconv.o out\obj\lua_cjson_test.o out\obj\main.o out\obj\msg_test.o out\obj\open_pwm_test.o out\obj\os_test.o out\
obj\strbuf.o out\obj\task_test.o out\obj\timer_test.o out\obj\uart_test.o -o out\lib\user.lib
已复制 1 个文件。
G:/ndk/user/

```

7. 在user\src\demo\lib\coremark目录下新建lua_coremark.c 将coremark接口封装成lua接口给脚本调用。代码如下所示：

```

#include "core_api.h"

int lua_coremark(void *L)
{
    /*coremark入口函数*/
    extern int core_mark(void);
    core_mark();

    return 0;
}

luaL_Reg rtt_lib[] = {

```

```

    {"coremark", lua_coremask},
    {NULL, NULL}
};

```

8. 在user\src\main.c中注册rtt_lib. 然后再次运行start.bat

```

#include "core_api.h"

/*入口函数*/
int user_main(void *L)
{

    /*rtt coremark*/
    extern luaL_Reg rtt_lib[];
    luaL_openlib(L, "rtt", rtt_lib, 0);

}

```

9. 编写main.lua运行rtt.coremake()

```

PROJECT = "COREMARK"
VERSION = "1.0.0"

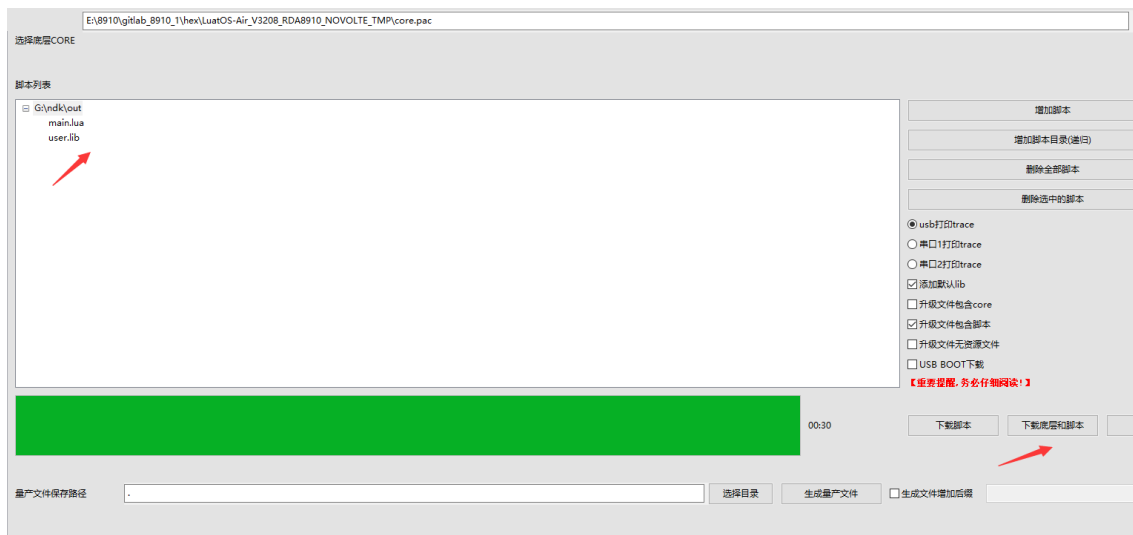
--加载日志功能模块，并且设置日志输出等级
--如果关闭调用log模块接口输出的日志，等级设置为log.LOG_SILENT即可
require "log"
LOG_LEVEL = log.LOGLEVEL_TRACE
require "sys"

--通过dl.open接口加载user.lib文件，并执行user_main入口函数
--user_main入口函数会注册rtt coremark，然后使用rtt.coremark()进行接口调用
local handle = dl.open("/lua/user.lib", "user_main")
if handle then
    rtt.coremark()
    dl.close(handle)
end

--启动系统框架
sys.init(0, 0)
sys.run()

```

10. 将main.lua和user.lib一起下载到模块中



11. 运行结果如下：

```
[2022-01-12 20:52:59.760] 2K performance run parameters for coremark.  
[2022-01-12 20:52:59.760]  
[2022-01-12 20:52:59.760] CoreMark Size   : 666  
[2022-01-12 20:52:59.760]  
[2022-01-12 20:52:59.760] Total ticks   : 13  
[2022-01-12 20:52:59.760]  
[2022-01-12 20:52:59.760] Total time (secs): 13  
[2022-01-12 20:52:59.760]  
[2022-01-12 20:52:59.760] Iterations/Sec   : 4  
[2022-01-12 20:52:59.760]  
[2022-01-12 20:52:59.760] Iterations       : 60  
[2022-01-12 20:52:59.760]  
[2022-01-12 20:52:59.760] Compiler version : GCC7.2.1 20170904 (release) [ARM/embedded-7-branch revision 255204]  
[2022-01-12 20:52:59.760]  
[2022-01-12 20:52:59.760] Compiler flags   :  
[2022-01-12 20:52:59.760]  
[2022-01-12 20:52:59.760] Memory location  : STACK  
[2022-01-12 20:52:59.760]  
[2022-01-12 20:52:59.760] seedcrc          : 0xe9f5  
[2022-01-12 20:52:59.760]  
[2022-01-12 20:52:59.760] [0]crclist       : 0xe714  
[2022-01-12 20:52:59.760]  
[2022-01-12 20:52:59.760] [0]crcmatrix     : 0x1fd7  
[2022-01-12 20:52:59.760]  
[2022-01-12 20:52:59.760] [0]crcstate      : 0x8e3a  
[2022-01-12 20:52:59.760]  
[2022-01-12 20:52:59.760] [0]crcfinal      : 0xa14c  
[2022-01-12 20:52:59.760]  
[2022-01-12 20:52:59.760] Correct operation validated. See README.md for run and reporting rules.
```

六、调试说明

• 如何查询哪些接口未定义

由于最终编译的user.lib库未参与链接，所以会未定义的函数并不会报错。虽然运行的时候会有错误提示，但是调试效率太低。

例如下面代码： undefFun1和undefFun2、undefFun3都是未定义的函数。但实际上编译并没有报错。

```
static void undefTest(void)
{
    undefFun1();
    undefFun2();
    undefFun3();
}
```

如何查找未定义函数：

1. 编译结束会在out目录下生成对应的map文件
2. 打开map文件搜索UND如下所示:

```
Line 7405:      0: 00000000      0 NOTYPE  LOCAL  DEFAULT  UND
Line 7736:    331: 00000000      0 NOTYPE  GLOBAL DEFAULT  UND memcpy
Line 7797:    392: 00000000      0 NOTYPE  GLOBAL DEFAULT  UND __aeabi_idiv
Line 7800:    395: 00000000      0 NOTYPE  GLOBAL DEFAULT  UND undefFun2
Line 7829:    424: 00000000      0 NOTYPE  GLOBAL DEFAULT  UND undefFun1
Line 7846:    441: 00000000      0 NOTYPE  GLOBAL DEFAULT  UND memset
Line 7849:    444: 00000000      0 NOTYPE  GLOBAL DEFAULT  UND __aeabi_uidiv
Line 7918:    513: 00000000      0 NOTYPE  GLOBAL DEFAULT  UND undefFun3
```

对于user.lib来说，编译器添加的接口也属于未定义接口，所以我们只要排除编译器添加的接口，剩下的都是我们需要去实现的。下面的接口就是编译器添加的接口。

```
{"memset"},
{"memcpy"},
{"__aeabi_idiv"},
{"__aeabi_idivmod"},
{"__divsi3"},
{"__aeabi_uidivmod"},
{"__aeabi_uidiv"},
{"__aeabi_ldivmod"},
{"__aeabi_uldivmod"},
{"__aeabi_drsub"},
{"__subdf3"},
{"__aeabi_dadd"},
{"__floatunsidf"},
{"__floatsidf"},
{"__extendsfdf2"},
{"__floatundidf"},
{"__floatdidf"},
{"__fixdfdi"},
{"__fixunsdfdi"},
{"__udivmoddi4"},
{"__udivsi3"},
```

3. 排除编译器提供的接口，我们就能明显的发现undefFun1和undefFun2、undefFun3都是未定义接口。

• 如何调试死机问题

可以通过AT指令 AT+EXINFO? 查询死机信息，根据死机信息可以判定死机位置，便于调试和解决问题；测试demo中有添加了该AT指令，如果死机过程中没有死机信息上报，可手动发指令查询。

NDK死机信息：

```
AT*EXINFO?  
*EXINFO:poweron=4,assert=func=/lua/user.lib,pc=5ba-line=0-ra=0  
*EXINFO:poweron=4,assert=func=/lua/user.lib,pc=5ba-line=0-ra=0  
OK  
AT*EXINFO? true OK nil
```

如上示 `assert=func=/lua/user.lib` 信息表明，死机位置位于 `user.lib` 文件中，可以根据 `pc=5ba-line=0-ra=0` 信息，在 `out/user.map` 文件中找到 5ba 所指位置处，定位导致死机的代码。

CORE死机信息：

```
AT*EXINFO?  
*EXINFO:poweron=4,assert=func=-line=0-ra=0  
*EXINFO:poweron=4,assert=func=-line=0-ra=0  
OK  
AT*EXINFO? true OK nil
```

如上示未标明 `/lua/user.lib` 类似信息，即为底层死机

- 常见的异常信息

1. [E]-[coroutine.resume] /lua/main.lua:36: dl.open fail relocate_section 620 unknown name: 'undefFun1'
导致的原因: user.lib中undefFun1接口未定义
2. [E]-[coroutine.resume]/lua/main.lua:36: dl.open fail
可能是dl.open 库的路径传入不对
3. [E]-[coroutine.resume] /lua/main.lua:36: dl.sym fail
可能是dl.open 入口函数名传入不对