

# 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

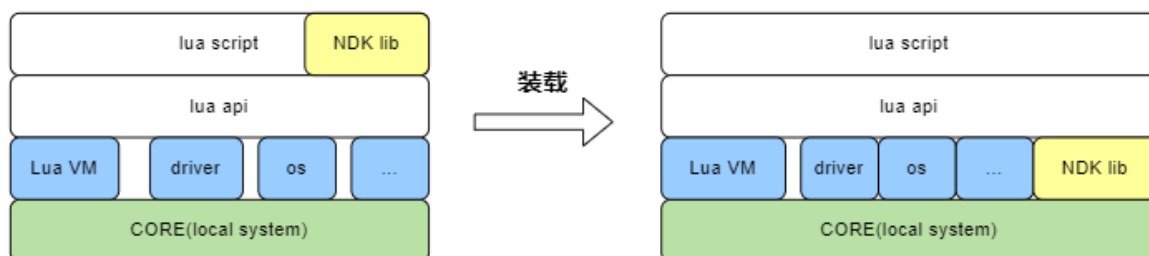
NDK主要针对LuatOS闭源版本（例如LuatOS-Air/LuatOS-HMI/LuatOS-iRTU等)的以下几种场景：

- 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。

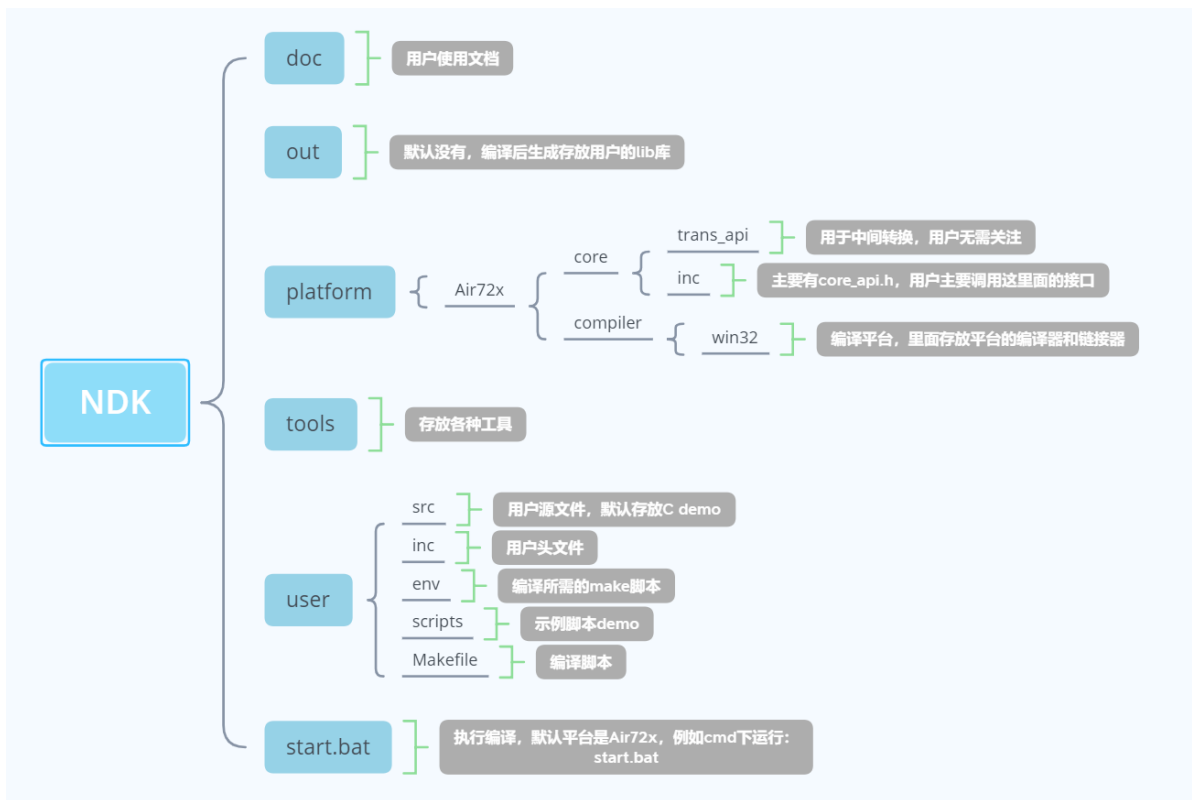
## 原理介绍

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、使用介绍

## NDK目录结构



## 1. 添加源文件

- 将源文件copy到NDK的 `user/src` 目录下，头文件相应放到 `user/include` 目录（如果没有可以手动创建，编译时自动生成）下。

注意：目前的NDK环境默认支持Air72x平台，NDK自带该平台编译器。其他平台需要额外安装编译器，具体步骤待支持其他平台后再补充。

- 如果项目 `user/src` 目录下包含子源文件夹，请修改该目录下的Makefile，DIRS后添加子源文件夹路径，同时在相应子源文件夹添加Makefile文件，Makefile参考如下：

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

PACKAGE_INC_PATHS := $(BASE_INC_PATHS)

include $(MAKE_INCLUDE)
```

- 如果项目 `user/src` 目录下还包含头文件夹，请修改该目录下的Makefile，BASE\_INC\_PATHS添加头文件夹路径，Makefile参考如下：

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

PACKAGE_INC_PATHS := $(BASE_INC_PATHS)
BASE_INC_PATHS += $(BUILD_ROOT)/src/demo/include

export BASE_INC_PATHS

include $(MAKE_INCLUDE)
```

## 2. 修改源文件

- 在NDK\platform\xxx\core目录下存放的是底层的头文件，底层提供的接口会全部放在core\_api.h里面。
- 用户如果想调用底层的接口，只需要在源码中添加#include "core\_api.h" 即可
- 编写好的C库文件仅需要为lua提供相应函数即可。

## 3. 生成lib库文件

- 在NDK根目录下运行 start.bat ，编译正常版本。
- 在NDK根目录下运行 start.bat FLOAT ，编译生成float版本。
- 运行结束后会在NDK的根目录下生成 out 文件夹，里面有 user.lib ，就是合成好的静态库。

### 3.1 lua接口介绍

可以参考代码示例

#### 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)
```

### 3.2 lua和c常见的参数传递接口

可以参考代码示例

#### 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

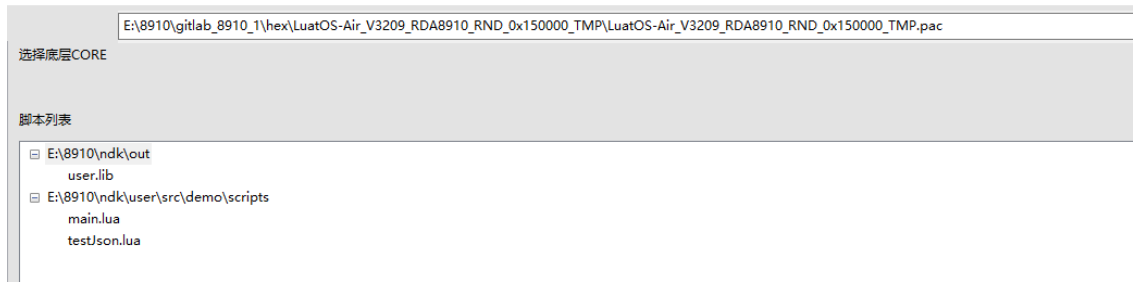
- 返回值  
无

## 三、固件下载

- 底层固件选择支持NDK的固件库

通过[http://erp.openluat.com/firm\\_customized](http://erp.openluat.com/firm_customized)服务器定制支持NDK功能的固件，版本号>=3209

- 通过增加脚本文件按钮，选择lua脚本和NDK\out目录下的user.lib，如下图所示：



- 点击下载即可。

需要注意的是，float版本的ndk需要对应float版本的core文件

## 四、代码示例

### 1. C库demo

```
/*编译成user.lib*/
#include "core_api.h"

int test(void *L)
{
    /*获取第一个参数*/
    int strSize;
    char *string = luaL_checklstring(L, 1, &strSize);
    /*获取第二个参数*/
    int num = luaL_checkinteger(L, 2);
    OPENAT_lua_print("test exe %s,%d", string, num);
    /*返回第一个参数*/
    lua_pushinteger(L, 100);
    /*返回2个参数*/
    lua_pushstring(L, string);
    /*返回参数个数*/
    return 2;
}

/*C函数表*/
const luaL_Reg user_map[] =
{
    {"test", test},
    {NULL, NULL}
};

/*入口函数*/
int user_main(void *L)
{
    OPENAT_lua_print("user_main exe");

    /*C函数注册*/
    luaL_openlib(L, "user", user_map, 0);

    /*其他初始化*/
    return 0;
}
```

## 2. lua脚本demo

```
PROJECT = "DL_TEST"
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"

rtos.sleep(3000)

--通过dl.open接口加载user.lib文件，并执行user_main入口函数
--user_main入口函数会将user_map注册到虚拟机中，然后使用user.test（）进行接口调用
local handle = dl.open("/lua/user.lib","user_main")
if handle then
    print("user",user);
    local len,string = user.test("hello", 99)
    print("string",string)
    print("len",len)
    dl.close(handle)
end

--启动系统框架
sys.init(0, 0)
sys.run()
```

运行结果：

```
user_main exe
user table: 0x80a203a0
test exe hello,99
string hello
len 100
```

## 3. 测试demo

目前支持的测试demo，包括常规测试和cJSON测试：

常规测试，主要为针对一些硬件接口、系统接口和lua虚拟机接口进行的测试；

例如：uart和gpio的硬件接口测试、task和message的系统接口测试以及参数获取和压栈操作的lua虚拟机接口的测试；

cJSON测试，主要移植了JSON数据解析器进行测试，实现了JSON数据的lua编解码等接口。

```
PROJECT = "DL_TEST"
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"
require "ril"

-- 打印死机信息
ril.request("AT*EXINFO?")
rtos.sleep(3000)
--[[
d1模块接口定义
函数: handle=d1.open(libpath,usermap)
功能: 加载c编译的lib文件
参数:
    --path:lib的路径,string类型
    --usermap:lua函数接口注册表
返回值:
    --handle:成功返回句柄, 失败返回nil

函数: ret = d1.close(handle)
功能: 卸载lib
参数:
    handle:d1.open的返回值
返回值: nil
]]

-- 常规测试
sys.taskInit(function ()
    local handle = d1.open("/lua/user.lib","user_main")
    if handle then
        --添加测试demo
        local ret_number = user.test_fun3(21)
        local ret_string = user.test_fun4(21,"test")
        local ret1,ret2,ret3 = user.test_function(1000,"123456789")
        local t = user.test_table()

        print("ret_number", ret_number);
        print("ret_string", ret_string);
        print("ret1_string",ret1)
        print("ret2_number",ret2)
        print("ret3_boolean",ret3)
        print("table return: ",t.num,t.str,t.bool)

        print("-----")

        -- user.test_uart()
        -- user.send_msg_to_lua_test()
        -- user.test_msg(20000)
        -- user.test_timer()
        -- user.test_task()
        -- 点亮LED灯,uart2发lightLED:2,1,10,启动LED,亮2秒, 灭1秒, 闪10次
        -- pmd.ldo_set(1,pmd.LDO_VLCD)
        -- user.test_light_led()

        -- NDK死机测试
        -- sys.wait(3000)
        -- user.test_dump()

        -- d1.close(handle)
    end
end)

```



```

-- cJSON测试
require "testJson"

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)

--启动系统框架
sys.init(0, 0)
sys.run()

```

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: 0x80b8b5f8
[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

AT*EXINFO?
*EXINFO:poweron=3
*EXINFO:poweron=3
OK
AT*EXINFO? true OK nil

```

本运行结果仅展示cJSON示例结果，其他测试可自行打开演示。

此外，如需删除该测试demo，可相应修改user/src目录下main.c文件中的入口注册函数，并删除user/src目录下Makefile文件中的demo路径即可。

## 4. 添加RTT COREMARK示例











### 1. COREMARK概述

RT-Thread 上的 MCU/CPU 性能测试小工具

## 2. 下载COREMARK代码

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

coremark代码如下所示:

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	








## 3. 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 :=

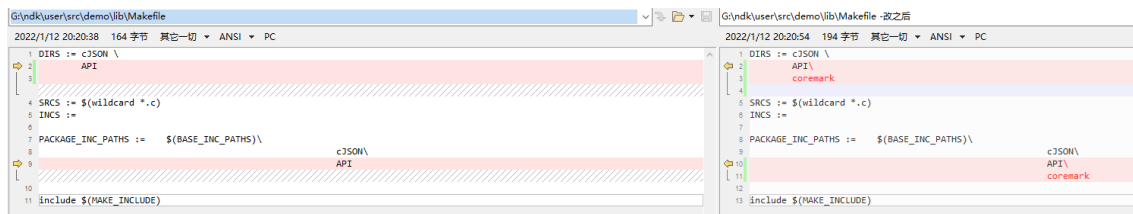
PACKAGE_INC_PATHS := $(BASE_INC_PATHS)
BASE_INC_PATHS +=
export BASE_INC_PATHS
include $(MAKE_INCLUDE)
```

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	

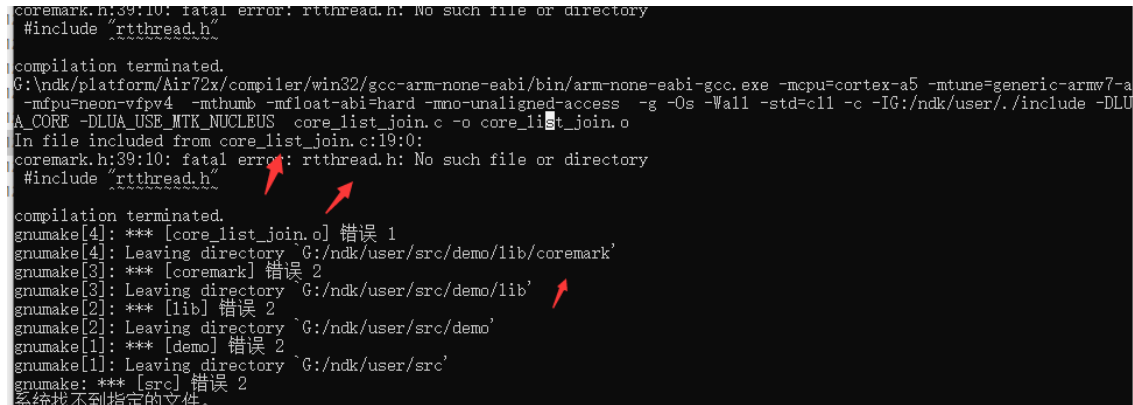
4. 修改user\src\demo\lib目录下的makefile, 将coremark加入编译工程中修改如下所示:

左边是修改前, 右边是修改后



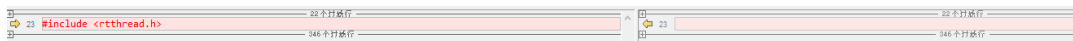
## 5. 运行ndk下start.bat.

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

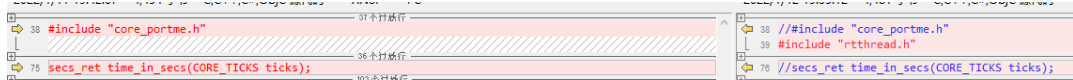


## 6. 添加rtthread.h文件，并解决编译错误：(注：下方截图右边都是修改后的)

- 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



- coremark.h 修改如下:



- 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：



## 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_coremask(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"

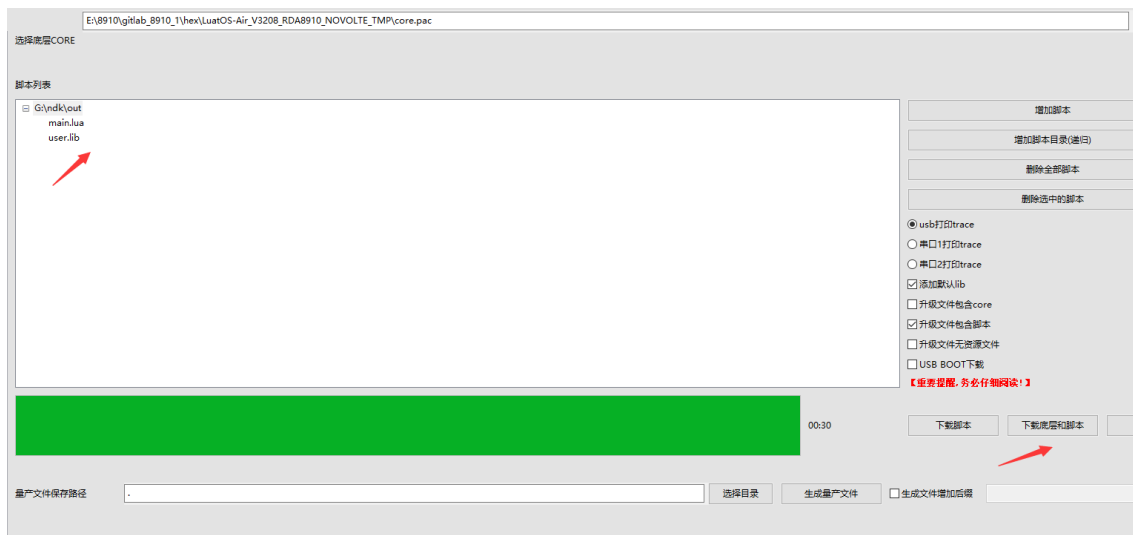
--加载日志功能模块，并且设置日志输出等级
--如果关闭调用log模块接口输出的日志，等级设置为log.LOG_SILENT即可
require "log"
LOG_LEVEL = log.LOGLEVEL_TRACE
require "sys"

--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.
```

## 五、调试

### 1. 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。

## 2. 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

### 3. 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