



微信搜一搜

Q IOT物联网小镇

一、前言

上篇文章我们聊了gdb的底层调试机制，明白了gdb是利用操作系统提供的系统信号来调试目标程序的。很多朋友私下留言了，看到能帮助到大家，我心里还是很开心的，其实这也是我继续输出文章的最大动力！后面我会继续把自己在项目开发中的实战经验进行总结。

- 蔡码士 Rex-: 自己每次写文章都要好几个小时，有时一整天，看到这样的文章忍不住点个赞。 1小时前 回复 删除 ...
- 道哥分享 博主 回复: 谢谢！正在公众号里写下一篇关于调试的文章，相信看了会对代码调试感受更深。 1秒前 回复 删除 ...
- 蔡码士 strive_day: 写的很不错，感谢博主的分享，看懂了，又学会了新知识，奈斯！ 7小时前 回复 删除 ...
- 道哥分享 博主 回复: 谢谢！ 5小时前 回复 删除 ...
- 蔡码士 Co_Co_爸: 比较简单，适合小白。 7小时前 回复 删除 ...
- 道哥分享 博主 回复: 那我周末写写一篇相对复杂一点的调试🤖 5小时前 回复 删除 ...
- 道哥分享 博主: 补充一点：在 next/step等单步执行执行中，gdb 的实现方式也是插入一个INT3指令，也就是计算出需要停止在某个指令行，然后用INT3代替。参考资料：http://www.alexonlinux.com/how-debugger-works#single_steps After seeing how easy to place a breakpoint, you can guess that stepping over one line of C/C++ code is simply a matter of placing a breakpoint on the next line of code. This is exactly what gdb does when you want it to single step over some expression. 昨天 回复 删除 ...
- 道哥分享 博主 回复 码哥 cortex1990: O(∩_∩)O 我就同步更新了一下🤖 昨天 回复 删除 ...
- 码哥 cortex1990 回复: 哈，知乎上也是我提问的。 昨天 回复 删除 ...
- 码哥 cortex1990: 高屋建瓴，通俗易懂，多谢博主 昨天 回复 删除 ...
- 道哥分享 博主 回复: 谢谢！大概周末，我会在公众号里写一篇LUA语言中的调试机制，会更深入一些，直接到最底层的PC指针。 昨天 回复 删除 ...

由于gdb的代码相对复杂，没有办法从代码层面仔细的分析调试细节，所以这次我们选择一个小巧、开源的Lua脚本语言，深入到最底层的代码中去探究一下代码调试真正是怎么一回事。

不过请放心，虽然深入到代码最底层，但是理解难度并不大，只要C语言掌握的没问题，其他就都不是问题。

另外，这篇文章重点不是介绍代码，而是介绍实现一个调试器应该如何思考，解决问题的思路是什么。

通过阅读这篇文章，能有什么收获？

1. 如果你使用过Lua语言，那么你能够从源代码级别了解到调试库的代码逻辑。
2. 如果你对Lua不了解，可以从设计思想、实现架构上学习到一门编程语言是如何进行调试程序的。

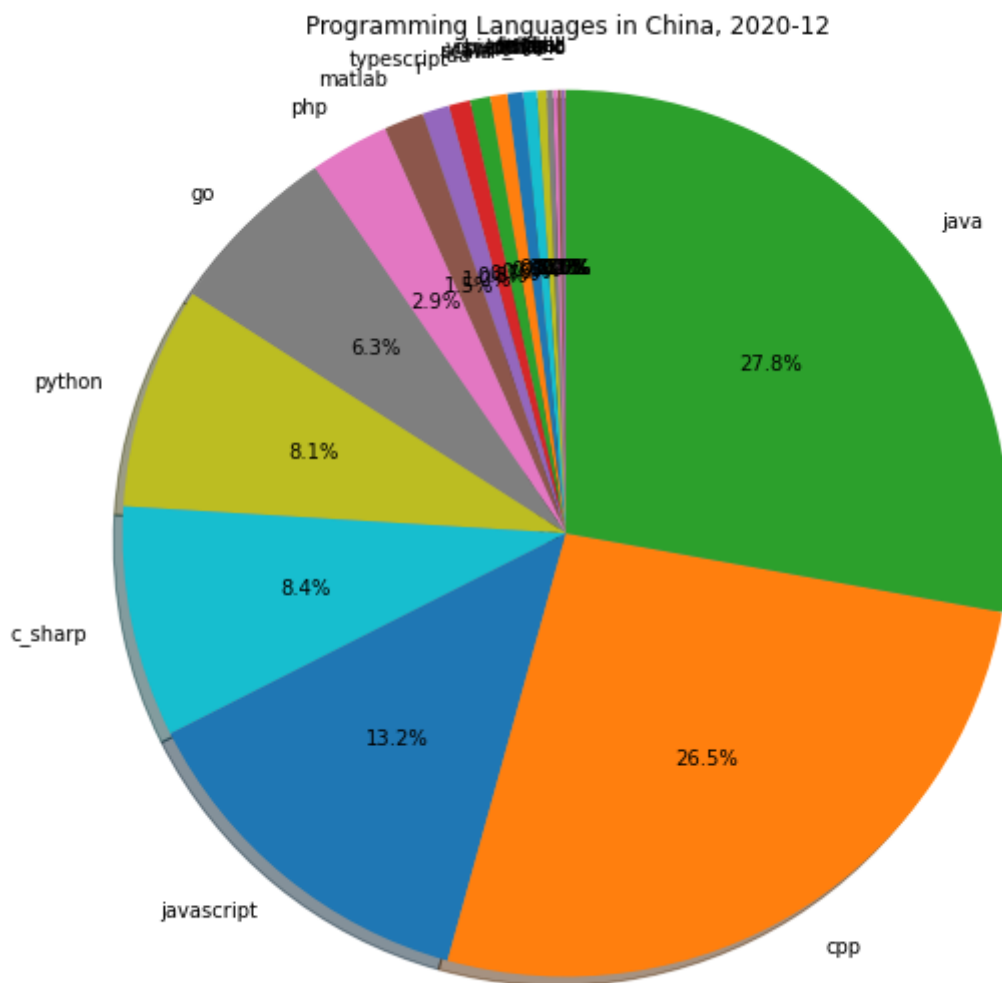
二、Lua 语言简介

1. Lua是什么鬼？

喜欢玩游戏的小伙伴可能会知道，Lua语言在**游戏开发**中使用的比较多。它是一个**轻量、小巧**的脚本语言，用标准**C语言**编写，源码开放。正因为这几个原因，所以我才选择它作为剖析对象。

如果对于Lua语言还是没有感觉，Python语言总应该知道吧？广告满天飞，你就把Lua想象为类似Python一样的脚本语言，只不过体积比Python要轻量的得多。

这里有1张图可以了解下，2020年12月份的编程语言**市场占有率**。



在上图中看不到Lua的身影，因为市场占有率太低了，大概是位于30几名。但是再看看下面这张图，从**工资**的角度再体会一下Lua的高贵：

| 排名 | 编程语言 | 平均工资 | 工资中位数 | 最低工资(2.5%) | 最高工资(97.5%) | 招聘人数 | 百分比 |
|----|-------------|-------|-------|------------|-------------|--------|-------|
| 1 | haskell | 25167 | 22500 | 20000 | 33000 | 3 | 0.0% |
| 2 | rust | 19788 | 18500 | 5250 | 45000 | 665 | 0.1% |
| 3 | julia | 18853 | 20416 | 9000 | 40000 | 34 | 0.0% |
| 4 | scala | 18740 | 17500 | 6500 | 43006 | 3419 | 0.6% |
| 5 | go | 17395 | 15000 | 5250 | 45000 | 34061 | 6.3% |
| 6 | lua | 17048 | 16000 | 4900 | 41549 | 3942 | 0.7% |
| 7 | python | 17024 | 15000 | 5000 | 45000 | 43539 | 8.0% |
| 8 | perl | 16730 | 15500 | 5110 | 37567 | 2684 | 0.5% |
| 9 | matlab | 16721 | 15000 | 5249 | 41548 | 7996 | 1.5% |
| 10 | swift | 16583 | 15000 | 5959 | 40288 | 3085 | 0.6% |
| 11 | kotlin | 16172 | 15000 | 4936 | 38547 | 1872 | 0.3% |
| 12 | ruby | 15736 | 12500 | 5250 | 39477 | 1230 | 0.2% |
| 13 | r | 15037 | 13500 | 4500 | 40000 | 5306 | 1.0% |
| 14 | c/c++ | 14905 | 12500 | 5250 | 40000 | 144142 | 26.5% |
| 15 | typescript | 14317 | 12500 | 5250 | 37005 | 4218 | 0.8% |
| 16 | java | 14102 | 12500 | 5250 | 37500 | 151560 | 27.9% |
| 17 | php | 13621 | 12500 | 5000 | 40000 | 15620 | 2.9% |
| 18 | objective_c | 13478 | 12500 | 5212 | 30000 | 151 | 0.0% |
| 19 | javascript | 12591 | 12500 | 5000 | 30000 | 72562 | 13.3% |
| 20 | c# | 12423 | 11500 | 5000 | 35000 | 46050 | 8.5% |

远远的把C/C++、JAVA甩在了身后，是不是有点冲动想学一下Lua语言了？先别激动，学习任何东西，先要想明白可以用在什么地方。如果仅仅是从找工作的角度来，Lua可以不用考虑了，毕竟市场需求量比较小。

2. 为什么选择Lua语言作为研究对象？

虽然Lua语言在招聘网站中处于小众需求，但是这并不妨碍我们利用Lua来深入的学习、研究一门编程语言，Lua语言虽小，但是五脏俱全。就像我们如果想学习Linux内核的设计思想，你是愿意从最开始的版本(几千行代码)开始呢？还是愿意从当前最新的内核代码(2780万行代码，66492个文件)开始呢？

看一下当前最新版的Lua代码体积：

❖ Source

Lua is free software distributed in source code. It may be used for any purpose, including commercial purposes, at absolutely no cost.

All versions are available for download. The current version is Lua 5.4 and its current release is Lua 5.4.2.



lua-5.4.2.tar.gz
2020-11-13, 346K
md5: 49c92d6a49faba342c35c52e1ac3f81e
sha1: 96d4a21393c94bed286b8dc0568f4bdde8730b22

同样的思路，如果我们想深入研究一门编程语言，选择哪一种语言，对于我们的积极性和学习效率是非常重要的。每个人的职业生涯都很长，花一些时间沉下心来研究透一门语言，对于一个开发者来说，还是蛮有成就的，对于职业的发展是非常有好处的，你会有一览众山小的感觉！

再看一下Lua代码量与Python代码量的对比：

| 语言 | 行数 |
|---------------------|-------|
| Python所有C源码 | 54万行 |
| Python核心C源码不含Module | 约17万行 |
| Lua5.3所有C源码 | 2.4万行 |

从功能上来说，Lua与Python之间是没有可比性的，但是我们的目的不是学习一个编程工具，而是研究一门编程语言本身，因此选择Lua脚本语言进行学习、研究，没有错！

言归正传。

三、Lua源代码5.3.5

1. Lua程序是如何执行的？

Lua 是一门扩展式程序设计语言，被设计成支持通过程式编程，并有相关数据描述设施。同时对面向对象编程、函数式编程和数据驱动式编程也提供了良好的支持。它作为一个强大、轻量的嵌入式脚本语言，可供任何需要的程序使用。

作为一门扩展式语言，Lua没有"main"程序的概念：它只能嵌入一个宿主程序中工作，该宿主程序被称为**被嵌入程序或者简称宿主**。宿主程序可以调用函数执行一小段Lua代码，可以读写Lua变量，可以注册C函数让Lua代码调用。依靠C函数，Lua可以共享相同的语法框架来定制编程语言，从而适用不同的领域。

也就是说，我们写了一个test.lua程序，是没有办法直接运行它的。而实需要一个“宿主”程序，来加载test.lua文件。



宿主程序可以是一个最简单的C程序，Lua官方提供了一个宿主程序。

我们也可以自己写一个，如下：

```
// 引入Lua头文件
#include <lua.h>
#include <lua-lib.h>
#include <lua-lib.h>

int main(int argc, char *argv[])
{
    // 创建一个Lua虚拟机
    lua_State *L = luaL_newstate();

    // 打开LUA中的标准库
    luaL_openlibs(L);
```

```
// 加载 test.lua 程序
if (luaL_loadfile(L, "test.lua") || lua_pcall(L, 0, 0, 0))
{
    printf("Error: %s \n", lua_tostring(g_lua_handle.L, -1));
    lua_close(g_lua_handle.L);
}
// 其他代码
}
```

2. Lua语法

在语法层面，Lua涵盖的内容还是比较全面的，它是一门动态类型语言，基本概念包括：八种基本数据类型，表是唯一的数据结构，环境与全局变量，元表及元方法，协程，闭包，错误处理，垃圾收集。具体的信息可以看一下[Lua5.3参考手册](#)。

这篇文章主要从[调试器](#)这个角度进行分析，因此我不会在这里详细的贴出很多代码细节，而只是把与调试有关的代码贴出来进行解释。

我之前在学习Lua源码时(5.3.5版本)，在代码文件中记录了很多注释，可以很好的帮助理解，主要是因为我的忘性比较好。

其实我更建议大家自己去下载源码学习，经过自己的理解、加工，印象会更深刻。在之前的工作中，由于项目需要，我对源码进行了一些优化，这部分代码就不放出来了，添加注释的源码是完完全全的Lua5.3.5版本，大概是这样子：

```
75: /*
76: 在 Lua中短字符串是被内化的，什么是内化？
77: 简单来说，每个存放Lua字符串的变量，实际上存放的只是字符串数据的引用，
78: lua中有一个全局的地方存放着当前系统中所有字符串，每当创建一个新的字符串，
79: 首先去查找是否已经存在同样的字符串。有的话，直接将引用指向已经存在的
80: 字符串数据，否则在系统内创建一个新的字符串数据，复制引用。
81:
82: hash: 指向哈希桶的指针数组，数组中的每个元素都是一个 TString * 指针。
83: nuse: 当前哈希桶内的字符串数量
84: size : 当前哈希桶的字符串容量
85: */
86: typedef struct stringtable {
87:     TString **hash;
88:     int nuse; /* number of elements */
89:     int size;
90: } stringtable;
```

```

102: Lua 把调用栈和数据栈分开保存。调用栈放在 CallInfo 结构中，
103: 以双向链表的形式存储在 lua_state 对象里。
104:
105: CallInfo 保存着正在调用的函数的运行状态。
106: CallInfo 是一个标准的双向链表结构，不直接被GC 管理。
107: 这个链表表达的是一个逻辑上的栈，在运行过程中，并不是每次调用更深层次的函数
108: 就立刻构造出一个 CallInfo 节点。整个 CallInfo 链表会在运行中反复复用。
109: 直到 gc 的时候才清理那些比当前调用层次更深的无用节点。
110: */
111: typedef struct CallInfo {
112:     StkId func; /* 指向正在执行的函数在数据栈上的位置,会初始化为 L1->top.
113:     StkId top; /* 初始化为: L1->top + LUA_MINSTACK。 top for this function
114:     struct CallInfo *previous, *next; /* dynamic call link */
115:     union {
116:         struct { /* only for Lua functions */
117:             StkId base; /* 调用此闭包时的第一个参数所在的数据栈位置
118:             const Instruction *savedpc; // 指令指针, 指向 Proto 中的 code 指令数
119:         } l;
120:         struct { /* only for C functions */
121:             lua_KFunction k; /* continuation in case of yields */
122:             ptrdiff_t old_errfunc;
123:             lua_KContext ctx; /* context info. in case of yields */
124:         } c;
125:     } u;
126:     ptrdiff_t extra;
127:     short nresults; /* expected number of results from this function
128:     unsigned short callstatus; /* 状态标识 */
129: } CallInfo;

```

如果有小伙伴需要加了注释的源码，请在公众号(IOT物联网小镇)里留言给我。

四、Lua调试库相关

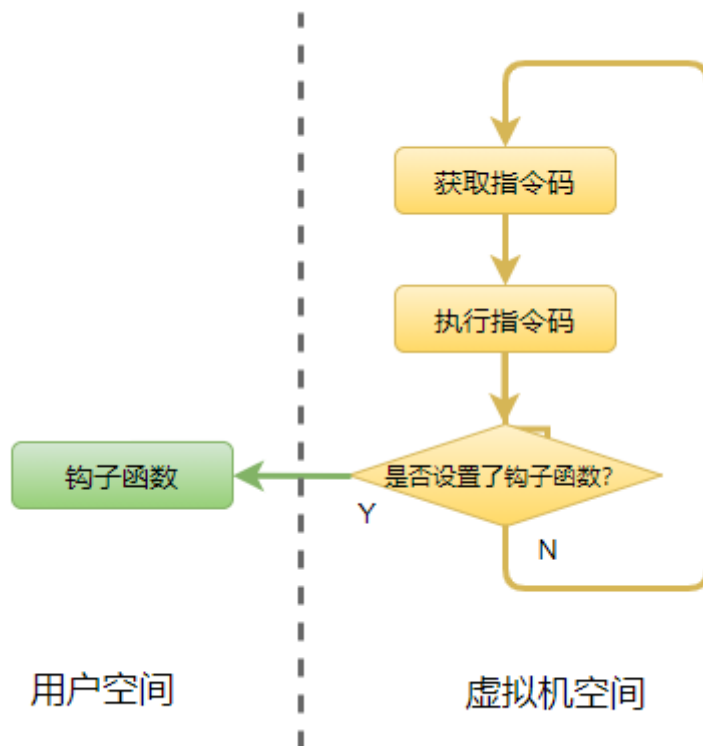
我们可以停下来稍微想一下，对一个程序进行调试，需要考虑的问题有3点：

1. 如何让程序暂停执行？
2. 如何获取程序的内部信息？
3. 如果修改程序的内部信息？

带着这些问题，我们来逐个击破。

1. 钩子函数(Hook)：让程序暂停执行

Lua虚拟机(也可称之为解释器)内部提供了一个接口：用户可以在应用程序中设置一个钩子函数(Hook)，虚拟机在执行指令码的时候会检查用户是否设置了钩子函数，如果设置了，就调用这个钩子函数。本质上就是设置一个回调函数，因为都是用C语言来实现的，虚拟机中只要把这个钩子函数的地址记住，然后在某些场合回调这个函数就可以了。



那么，虚拟机在哪些场合回调用户设置的钩子函数呢？

我们在设置Hook函数的时候，可以通过`mask`参数来设置回调策略，也就是告诉虚拟机：在什么时候来回调钩子函数。`mask`参数可以是下列选项的组合操作：

1. `LUA_MASKCALL`：调用一个函数时，就调用一次钩子函数。
2. `LUA_MASKRET`：从一个函数中返回时，就调用一次钩子函数。
3. `LUA_MASKLINE`：执行一行指令时，就回调一次钩子函数。
4. `LUA_MASKCOUNT`：执行指定数量的指令时，就回调一次钩子函数。

设置钩子函数的基础API原型如下：

```
void lua_sethook (lua_State *L, lua_Hook f, int mask, int count);
```

第二个参数`f`需要指向我们自己定义的钩子函数，这个钩子函数原型为：

```
typedef void (*lua_Hook) (lua_State *L, lua_Debug *ar);
```

我们也可以通过下面即将介绍的`调试库`中的函数来设置钩子函数，效果是一样的，因为调试库函数的内部也是调用基础函数。

```
debug.sethook ([thread,] hook, mask [, count])
```

再来看一下虚拟机中的相关代码。

当执行完上一条指令，获取下一条指令之后，调用函数`luaG_traceexec(lua_State *L)`：

```
void luaG_traceexec (lua_State *L) {
    // 获取mask掩码
    lu_byte mask = L->hookmask;
    int counthook = (--L->hookcount == 0 && (mask & LUA_MASKCOUNT));
    if (counthook)
        resethookcount(L);
    else if (!(mask & LUA_MASKLINE))
        return;
}
```



```

if (counthook)
    luaD_hook(L, LUA_HOOKCOUNT, -1); // 按指令次数调用钩子函数
if (mask & LUA_MASKLINE) {
    Proto *p = ci_func(ci)->p;
    int npc = pcRel(ci->u.l.savedpc, p);
    int newline = getfuncline(p, npc);
    if (npc == 0 ||
        ci->u.l.savedpc <= L->oldpc ||
        newline != getfuncline(p, pcRel(L->oldpc, p)))
        luaD_hook(L, LUA_HOOKLINE, newline); // 按行调用钩子函数
}
}

```

可以看到，当mask掩码中包含了LUA_MASKLINE时，就调用函数luaD_hook()，如下代码：

```

void luaD_hook (lua_State *L, int event, int line) {
    lua_Hook hook = L->hook;
    if (hook && L->allowhook) {
        // 为钩子函数准备参数，其中包括了各种调试信息
        lua_Debug ar;
        ar.event = event;
        ar.currentline = line;
        ar.i_ci = ci;
        // 调用钩子函数
        (*hook)(L, &ar);
    }
}

```

只要进入了用户设置的钩子函数，那么我们就可以在这个函数中**为所欲为**了。

比如：获取程序内部信息，读取、修改变量的值，查看函数调用栈信息等等，这就是下面要讲解的内容。

2. Lua调试库是什么？

首先说一下Lua中的标准库。

所谓的标准库就是Lua为开发者提供一些有用的函数，可以提高开发效率，当然我们可以选择不使用标准库，或者只使用部分标准库，这是可以裁剪的。

- 基础库
- 协程库
- 包管理库
- 字符串控制
- 基础UTF-8支持
- 表控制
- 数学函数
- 输入输出
- 操作系统库
- 调试库

这里我们只介绍一下基础库、操作系统库和调试库这三个家伙。

基础库

基础库提供了Lua核心函数，如果你不将这个库包含在你的程序中，就需要小心检查程序是否需要自己提供其中一些特性的实现，这个库一般都是需要使用的。

操作系统库

这个库提供与操作系统进行交互的功能，例如提供了函数：

```
os.date
os.time
os.execute
os.exit
os.getenv
```

调试库

先看一下库中提供的几个重要的函数：

```
debug.gethook
debug.sethook
debug.getinfo
debug.getlocal
debug.setlocal
debug.setupvalue
debug.traceback
debug.getregistry
```

上面已经说到，Lua给用户提供了设置钩子的API函数`lua_sethook`，用户可以直接调用这个函数，此时传入的钩子函数的定义格式需要满足要求。

为了简化用户编程，Lua还提供了调试库来帮助用户降低编程难度。调试库其实也就是把基础API函数进行封装了一下，我们以设置钩子函数`debug.sethook`为例：

文件`ldblib.c`中，定义了调试库支持的所有函数：

```
static int db_sethook (lua_State *L) {
    lua_sethook(L1, func, mask, count);
}

static const luaL_Reg dblib[] = {
    // 其他接口函数都删掉了，只保留这一个来讲解
    {"sethook", db_sethook},
    {NULL, NULL}
};

// 这个函数用来把调试库中的函数注册到全局变量表中
LUAMOD_API int luaopen_debug (lua_State *L) {
    luaL_newlib(L, dblib);
    return 1;
}
```

可以看到，调试库的`debug.sethook()`函数最终也是调用基础API函数：`lua_sethook()`。

在后面的调试器开发讲解中，我就是用debug库来实现一个远程调试器。

3. 获取程序内部信息

在钩子函数中，可以通过如下API函数还获取程序内部的信息了：

```
int lua_getinfo (lua_State *L, const char *what, lua_Debug *ar);
```

在这个API函数中：

第二个参数用来告诉虚拟机我们想获取程序的哪些信息

第三个参数用来存储获取到的信息

结构体lua_Debug比较重要，成员变量如下：

```
typedef struct lua_Debug {
    int event;
    const char *name;           /* (n) */
    const char *namewhat;       /* (n) */
    const char *what;           /* (S) */
    const char *source;         /* (S) */
    int currentline;            /* (l) */
    int linedefined;            /* (S) */
    int lastlinedefined;        /* (S) */
    unsigned char nups;         /* (u) 上值的数量 */
    unsigned char nparams;      /* (u) 参数的数量 */
    char isvararg;              /* (u) */
    char istailcall;            /* (t) */
    char short_src[LUA_IDSIZE]; /* (S) */
    /* 私有部分 */
    /* 其它域 */
} lua_Debug;
```

1. source: 创建这个函数的代码块的名字。如果 source 以 '@' 打头，指这个函数定义在一个文件中，而 '@' 之后的部分就是文件名。
2. linedefined: 函数定义开始处的行号。
3. lastlinedefined: 函数定义结束处的行号。
4. currentline: 给定函数正在执行的那一行。

其他字段可以在参考手册中查询。

例如：如果想知道函数 f 是在哪一行定义的，你可以使用下列代码：

```
lua_Debug ar;
lua_getglobal(L, "f"); /* 取得全局变量 'f' */
lua_getinfo(L, ">S", &ar);
printf("%d\n", ar.linedefined);
```

同样的，也可以调用调试库debug.getinfo()来达到同样的目的。

4. 修改程序内部信息

经过上面的讲解，已经看到我们获取程序信息都是通过Lua提供的API函数，或者是利用调试库提供的接口函数来完成的。那么修改程序内部信息也同样如此。

Lua提供了下面这2个API函数来修改函数中的变量：

1. 修改当前活动记录总的局部变量的值：

```
const char *lua_setlocal (lua_State *L, const lua_Debug *ar, int n);
```

2. 设置闭包上值的值(上值upvalue就是闭包使用了外层的那些变量)

```
const char *lua_setupvalue (lua_State *L, int funcindex, int n);
```

同样的，也可以利用调试库中的`debug.setlocal`和`debug.setupvalue`来完成同样的功能。

5. 小结

到这里，我们就把Lua语言中与调试有关的机制和代码都理解清楚了，剩下的问题就是如何利用它提供的这些接口，来编写一个类似gdb一样的调试器。

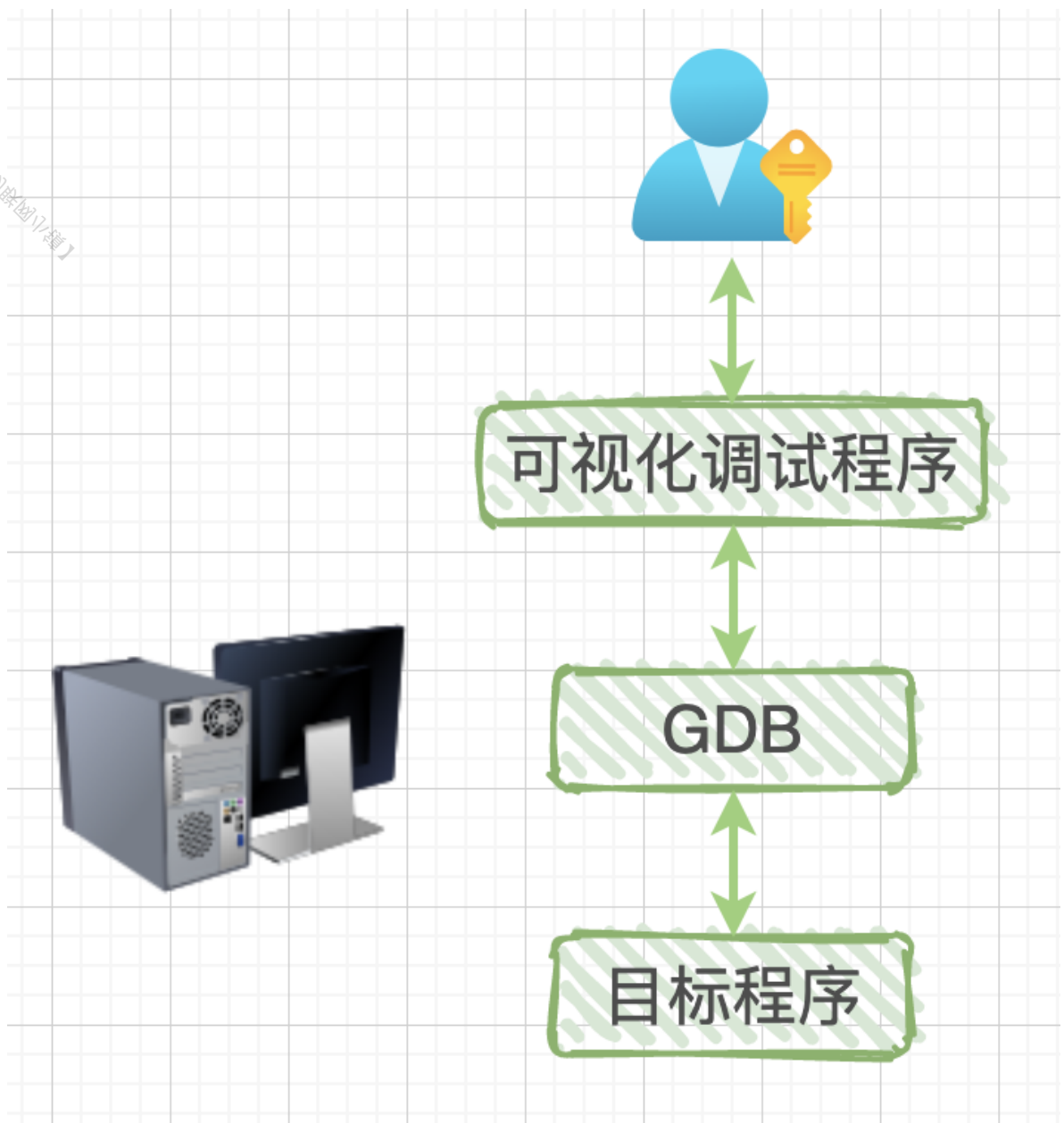
就好比：Lua已经把材料(米、面、菜、肉、佐料)摆在我们的面前了，剩下的就需要我们把这些材料做成一桌美味佳肴。

五、Lua调试器开发

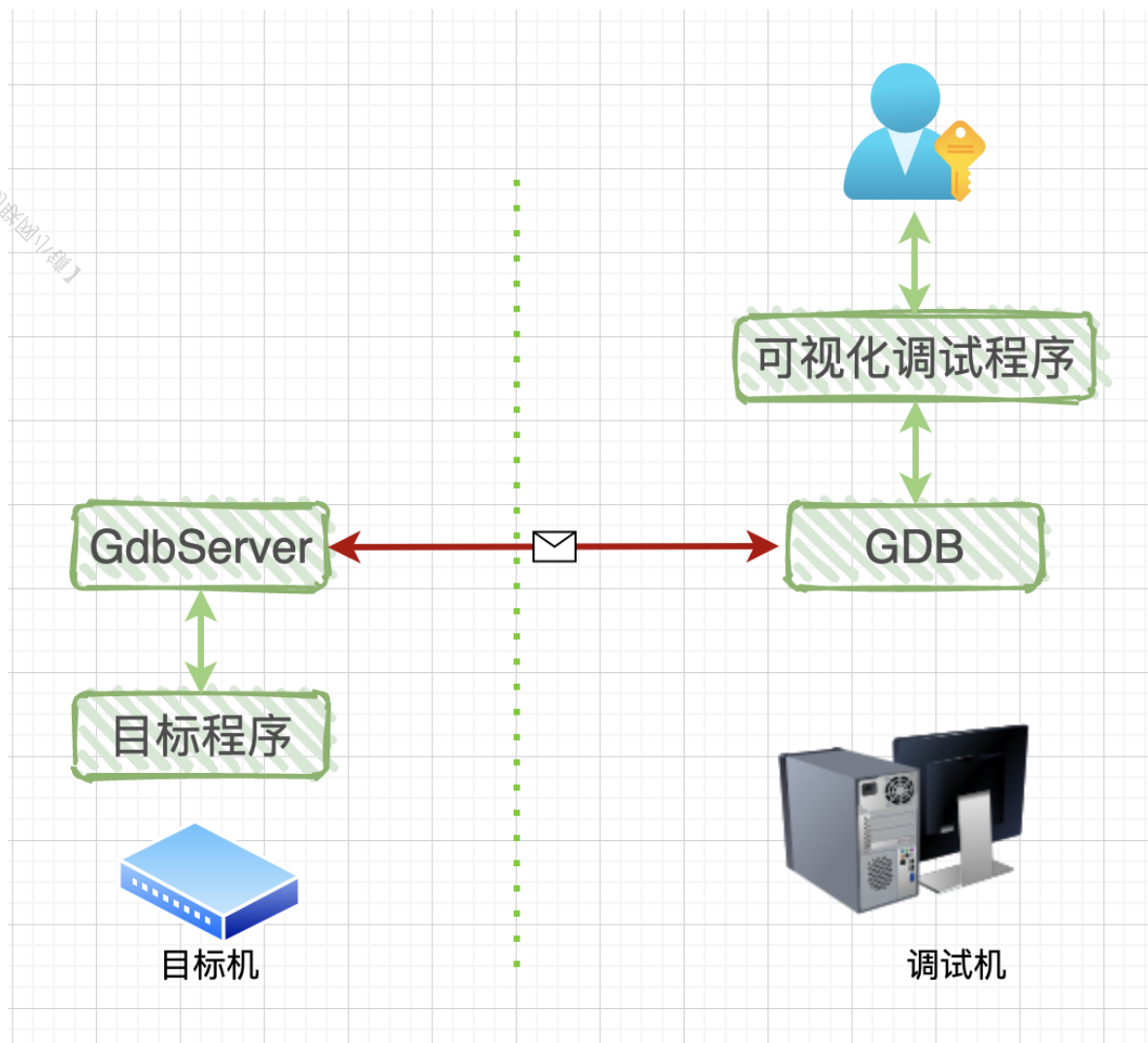
1. 与gdb调试模型做类比

上一篇文章说过，gdb调试模型有两种：[本地调试](#)和[远程调试](#)。

本地调试

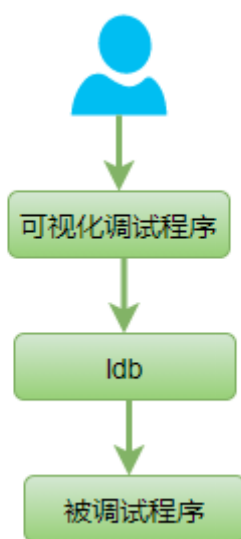


远程调试

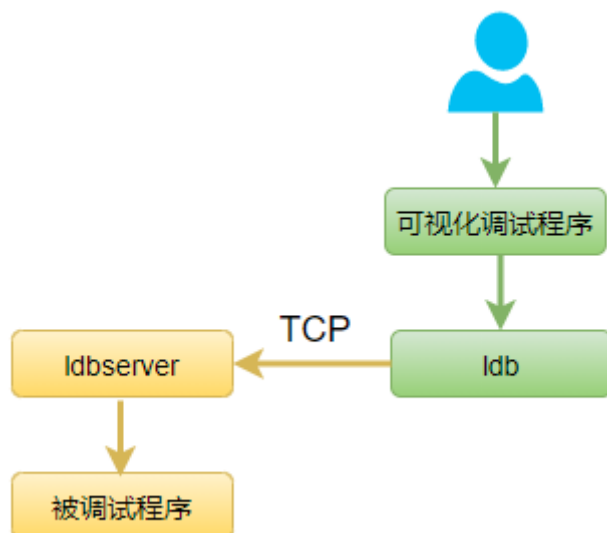


那么，我们也可以按照这个思路来实现两种调试模型，只要把其中的gdb替换成ldb， gdbserver替换成ldbserver即可。

本地调试



远程调试



这两种调试模型本质是一样的，只是调试程序和被调试程序是否运行在同一台电脑上而已。

如果是远程调试，ldbserver调用接口函数对被调试程序进行控制，然后把结果通过TCP网络传递给ldb，ldbserver就相当于一个传话筒。

至于选择实现哪一种调试模型？这个要根据实际场景的需求来决定。

我在这里实现的是远程调试，因为被调试程序是需要运行在ARM板子(下位机)中的，但是调试器是需要运行在PC电脑上(上位机)的，通过远程调试，只需要把ldbserver和被调试程序放到下位机中运行，ldb嵌入到上位机的集成开发环境(IDE)中运行就可以了。

另外，远程调试模型同样也可以全部运行在同一台PC电脑中，这个时候ldb与ldbserver之间就是在本机中进行TCP网络连接。

这里有2个内容需要补充一下：

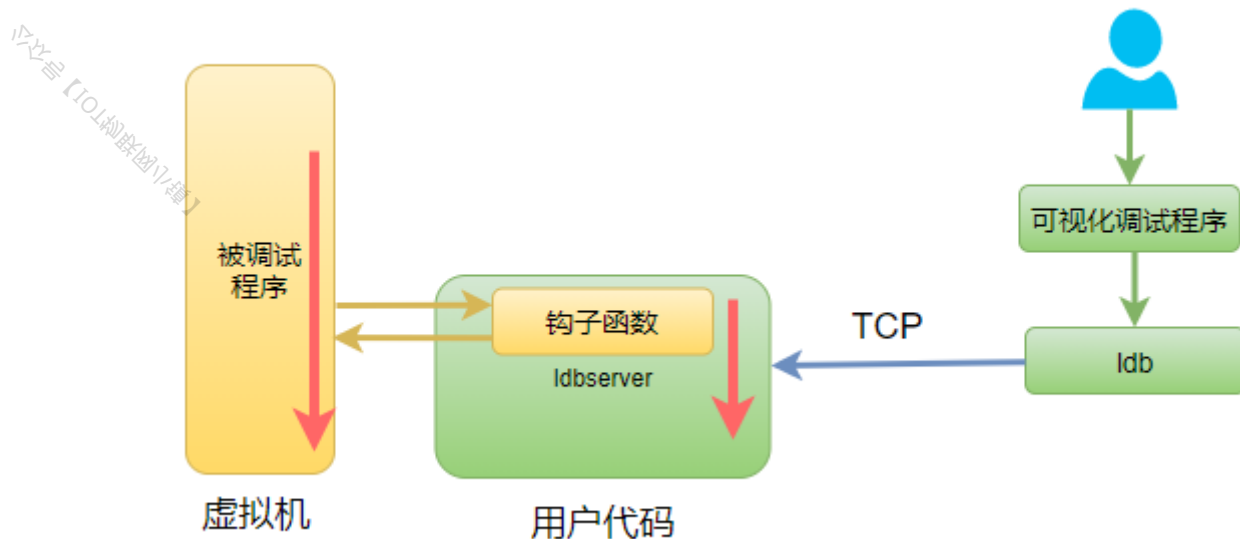
1. TCP链接可以直接利用第三方库luasocket。
2. ldb与ldbserver之间的通讯协议可以参照gdb与gdbserver之间的协议，也可以自定义。我借鉴了HTTP协议，简化了很多。

2. ldbserver如何实现

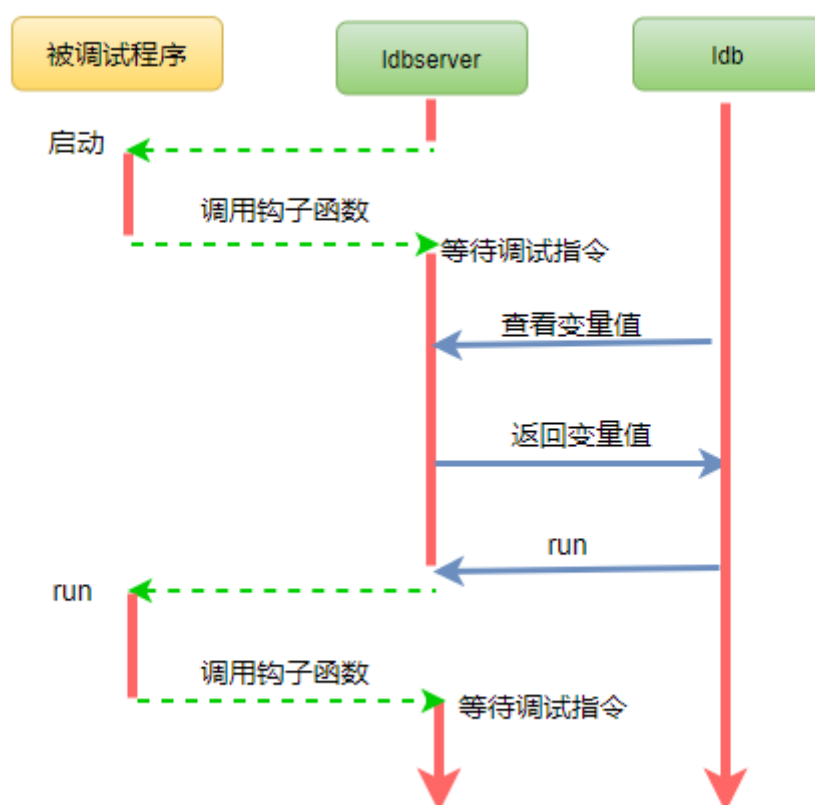
思考一个问题：被调试程序在执行时调用钩子函数，在钩子函数中我们可以做各种调试操作，但是在执行到钩子函数的最后，是需要返回到被调试程序中的下一行指令码继续执行的，我们不能打断被调试程序的执行序列。

但是，调试操作又需要通过TCP连接与上位机进行通信协议的交互，比如：设置断点、查看变量的值、查看函数信息等等。所以，被调试程序的执行与调试器ldbserver的执行是2个并发的执行序列，可以理解为2个线程在并发执行。我们需要在这2个执行序列之间进行协调，比如：

1. ldbserver在等待用户输入指令时(running)，被调试程序应该处于暂停状态(pending)。
2. ldbserver接收到用户指令后(eg: run)，自己应该暂停执行(pending)，让被调试程序继续执行(running)。



上图中，两条红色箭头表示两个执行序列。这两个执行序列并不是同时在执行的，而是交替执行，如下图所示：



那么怎么样才能让这2个执行序列交替执行呢？

如果是在C语言中，我们可以通过信号量、互斥锁等各种方法实现，但这是在Lua语言中，应该利用什么机制来实现这个功能？

柳暗花明又一村！

Lua中提供了**协程机制**！

下面这段话是从参考手册中摘抄过来：

1. Lua 支持协程，也叫协同式多线程。一个协程在 Lua 中代表了一段独立的执行线程。然而，与多线程系统中的线程的区别在于，协程仅在显式调用一个让出 (yield) 函数时才挂起当前的执行。
2. 调用函数 `coroutine.create` 可创建一个协程。
3. 调用 `coroutine.resume` 函数执行一个协程。
4. 通过调用 `coroutine.yield` 使协程暂停执行，让出执行权。

我们可以让 **ldbserver** 运行在一个 **协程** 中，被调试程序运行在 **主程序** 中。

当虚拟机执行一条被调试程序的指令码之后，调用钩子函数，在钩子函数中通过

`coroutine.resume` 让协程运行，主程序停止。前面说到，ldbserver 运行在运行在一个 **协程** 中，此时就可以在 ldbserver 中利用阻塞函数 (例如：TCP 中的 `receive`)，接收用户的调试指令。

假设用户发送来全速执行指令 (`run`)，ldbserver 就调用 **`coroutine.yield`** 让自己挂起，此时被调试程序所在的主程序就可以继续执行了。

进行到这里，基本上大功告成！剩下的就是一些代码细节问题了。

3. ldb如何实现

这部分就比较简单了，从功能上来说包括3部分内容：

1. 与ldbserver之间建立TCP连接。
2. 读取调试人员输入的指令，发送给ldbserver。
3. 接收ldbserver发来的信息，显示给调试人员。

可以在调试终端中手动输入、显示调试信息，也可以把ldb嵌入到一个可视化的编辑工具中，例如：

```
local function print_commands()
    print("setb <file> <line>      -- sets a breakpoint")
    print("step                    -- run one line, stepping into function")
    print("next                      -- run one line, stepping over function")
    print("goto <line>                -- goto line in a function")
    // 其他指令
end
```

六、调试指令举例

1. break指令的实现

(1) 设置钩子函数

ldbserver通过调试库的 `debug.sethook` 函数，设置了一个钩子函数，调用参数是：

```
debug.sethook(my_hook, "lcr")
```

第二个参数 "lcr" 的含义是：

'c': 每当 Lua 调用一个函数时，调用钩子。
 'r': 每当 Lua 从一个函数内返回时，调用钩子。
 'l': 每当 Lua 进入新的一行时，调用钩子。

也即是说：虚拟机进入一个函数、从一个函数返回、每执行一行代码，都调用一次钩子函数。注意：这里的一行指定是被调试程序中的一行 Lua 代码，而不是二进制文件中的一行指令码，一行 Lua 代码可能被编译生成多行指令码。

这里还有一点需要注意：钩子函数虽然是定义在用户代码中，但是它是被虚拟机调用的，也就是说钩子函数是处于主程序的执行序列中。

(2) 设置断点

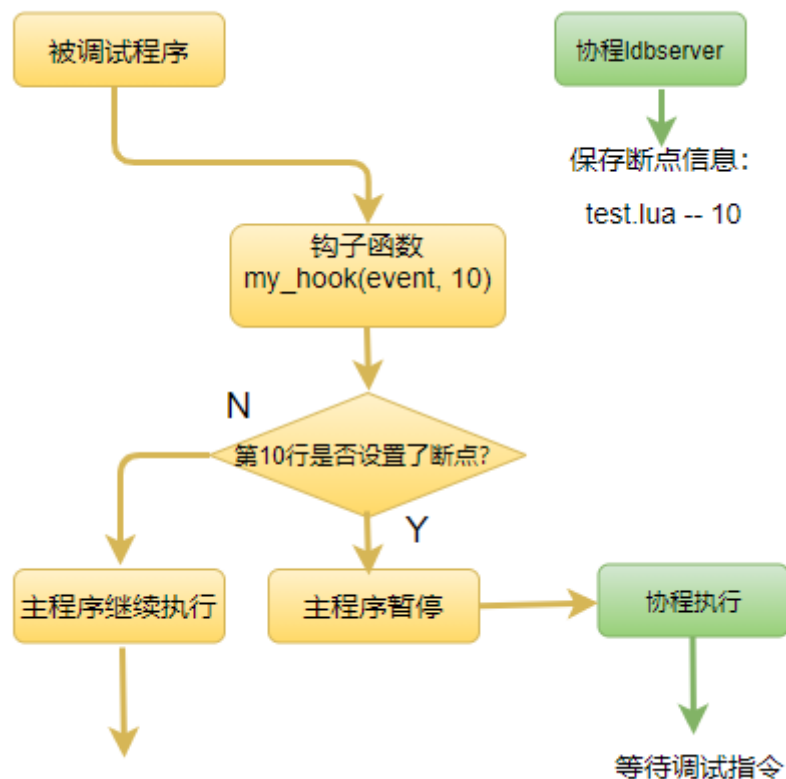
ldb向ldbserver发送设置断点的指令：setb test.lua 10，即：在test.lua文件的第10行设置一个断点，ldbserver接收到指令后，在内存中记录这个信息(文件名-行号)。

(3) 捕获断点

虚拟机在调用钩子函数时，传入两个参数(注意：钩子函数是被虚拟机调用的，所以它是处于主程序的执行序列中)，

```
local function my_hook(event, line)
```

在钩子函数中，查找这个line是否被用户设置为断点，如果是那么就通过coroutine.resume让主程序暂停，让协程中的ldbserver执行。此时，ldbserver就可以在TCP网络上继续等待ldb发来的下一个调试指令。



2. next指令的实现

next指令与step指令类似，区别在于当下一条指令是一个函数调用时：

step指令：进入到函数内部。

next指令：不进入函数内部，而是直接把这个函数执行完。

next指令的实现主要依赖于钩子函数的第一个参数event，上面在设置钩子函数的时候，告诉虚拟机在3种条件下调用钩子函数，重新贴一下：

'c': 每当 Lua 调用一个函数时，调用钩子

'r': 每当 Lua 从一个函数内返回时，调用钩子

'l': 每当 Lua 进入新的一行时，调用钩子

在进入钩子函数之后，event参数会告诉我们：为什么会调用钩子函数。代码如下：

公众号【IOT物联网小镇】

```
function my_hook(event, line)
  if event == "call" then
    // 进入了一个函数
    func_level = func_level + 1
  elseif event == "return" then
    // 从一个函数返回
    func_level = func_level - 1
  else
    // 执行完一行代码
  end
```

所以就可以利用event参数来记录进入、退出函数层数，然后在钩子函数中判断：是否需要暂停主程序，把执行的机会让给协程。

3. goto指令的实现

在调试过程中，如果我们想跳过当前执行函数中的某几行，可以发送goto指令，被调试程序就从当前停止的位置直接跳转到goto指令中设置的那行代码。

目前goto指令有一个限制：

因为Lua虚拟机中的所有代码都是以函数为单位的，通过函数调用栈把所有的代码串接在一起，因此只能goto到当前函数内的指定行。

这部分功能Lua源码中并没有提供，需要扩展调试库的功能。核心步骤就是：强制把虚拟机中的PC指针设置为指定的那行Lua代码所对应的第一个指令码。

```
ar->i_ci->u.l.savedpc = cl->p->code + 需要跨过的指令码
```

ar变量就是调试库为我们准备的：

```
const lua_Debug *ar
```

(如果你能跟着思路看到这里，我心里时非常非常的感激，能容忍我这么唠叨这么久。到这里我想表达的内容也差不多结束了，后面两个模块如果有兴趣的话可以稍微了解一下，不是重点。)

七、其他重要的模块

这部分先空着，如果有小伙伴想要详细了解的话，请在公众号(IOT物联网小镇)中留言给我，单独整理成文档。

比较重要的内容包括：

1. 标准库的加载过程
2. 函数调用栈
3. 同时调试多个程序
4. 如何处理中断信号
5. 如何处理中断信号嵌套问题
6. 如何添加自己的库
7. 如何同时调试多个程序
8. 其他指令的实现机制：查看、修改变量，查看函数调用栈，多个被调试程序的切换等等。

八、调试操作步骤

关于实际操作步骤，用文档表达起来比较费劲，全部是黑乎乎的终端窗口。计划录一个60分钟左右的视频，把上面提到的内容都操作演示一遍，这样效果会更好一下。有兴趣的话可以在B站搜一下我的ID([道哥分享](#))。

内容主要包括：

1. 在Linux平台下：编译和调试步骤。
2. Windows平台下：编译和调试步骤。
3. 简单的图形调试界面，就是把Ildb嵌入到IDE中。

【原创声明】

作者：道哥(公众号: [IOT物联网小镇](#))

知乎：道哥

B站：道哥分享

掘金：道哥分享

CSDN：道哥分享

如果觉得文章不错，请[转发](#)、[分享](#)给您的朋友。

我会把[十多年嵌入式开发中的项目实战经验](#)进行总结、分享，相信不会让你失望的！

长按下图二维码关注，每篇文章都有干货。



转载：欢迎转载，但未经作者同意，必须保留此段声明，必须在文章中给出原文连接。

推荐阅读

- [1] [原来gdb的底层调试原理这么简单](#)
- [2] [生产者和消费者模式中的双缓冲技术](#)
- [3] [C C++ 静态库动态库的制作和使用](#)
- [4] [利用C可变参数和宏定义来实现自己的日志系统](#)
- [5] [C与C++混合编程](#)
- [6] [拿来即用：用C+JS结构来处理JSON数据](#)
- [7] [拿来即用：分享一个检查内存泄漏的小工具](#)