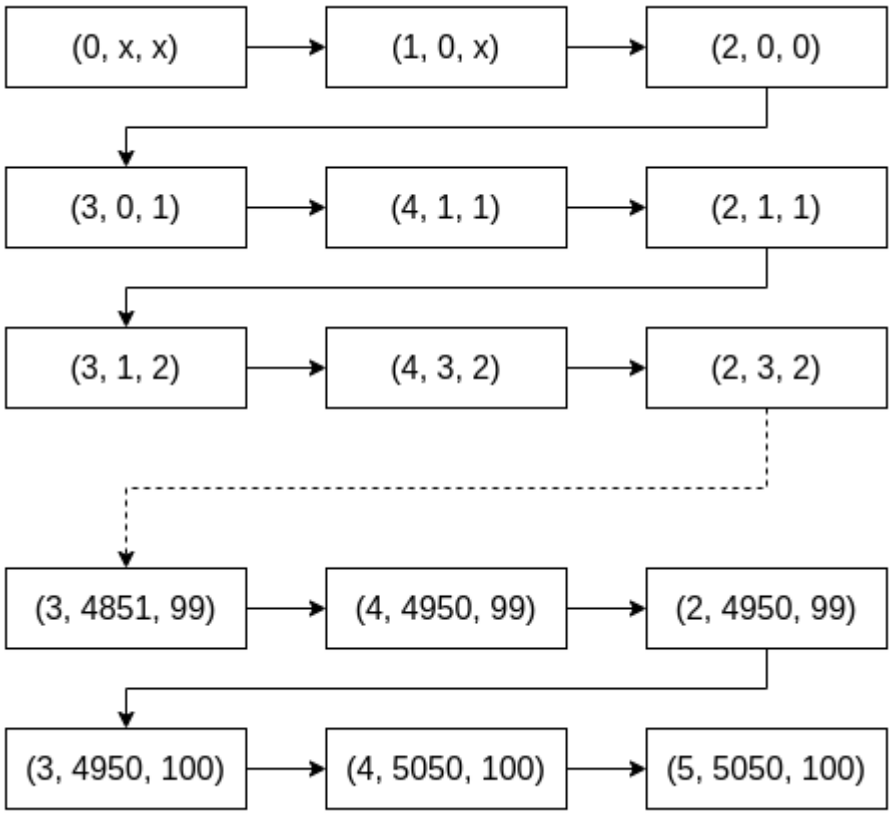
PA 1

201300035 方盛俊

1. RTFSC

1.1 从状态机视角理解程序运行



1.2 实现 x86 的寄存器结构体

使用匿名 union, 修改后的代码如下:

```
typedef struct {
    union {
        struct {
            union {
                uint32_t _32;
                uint16_t _16;
                uint8_t _8[2];
            };
        } gpr[8];

        /* Do NOT change the order of the GPRs' definitions. */

        /* In NEMU, rtlreg_t is exactly uint32_t. This makes RTL instructions
         * in PA2 able to directly access these registers.
         */
        struct {
            rtlreg_t eax, ecx, edx, ebx, esp, ebp, esi, edi;
        };
    };

    vaddr_t pc;
} x86_CPU_state;
```

1.3 尝试使用 vscode + gdb 进行调试并完善相关配置

直接使用 gdb 还是感觉太麻烦了, 执行需要各种各样的命令, 而且代码查看和跳转也不方便.

这种时候还是要有像正常 IDE 那样的调试界面才快乐啊. 所以我把目光投向了 VSCode 的调试功能. VSCode 既有 IDE 的强大, 有着可以媲美 Vim 的强大功能, 又有着对命令行功能的良好适配. 其中 VSCode 对 C 和 C++ 语言的调试功能正是通过 gdb 实现的, 所以我们可以很容易地进行一些配置, 使得 VSCode 的调试功能适配 NEMU 项目.

我们只需要添加两个文件, 第一个是 `tasks.json`:

```
{
    "version": "2.0.0",
    "options": {
        "cwd": "${workspaceRoot}/nemu" // $ nemu 路径
    },
    "tasks": [
        {
            "label": "make", // 任务名称, 与 launch.json 的 preLaunchTask 相对应
            "command": "make",
            "args": [
                "vscode" // 对应 `make vscode`, 类似于 `make gdb`, 但实际上用的是
            ],
            "type":"shell"
        },
        {
            "label": "kill",
            "command": "killall", // 即执行 killall -9 x-terminal-emulator 杀死
            "args": [
                "-9",
                "x-terminal-emulator"
            ],
            "type":"shell"
        }
    ]
}
```

其对应着命令 `make vscode`, 即在执行前, 重新生成可执行程序, 然后使用 VSCode 调试, 结束调试之后执行 `killall -9 x-terminal-emulator` 杀死进程.

这里是我修改过的 Makefile (修改 `native.mk` 文件), 以便能正常地跟踪我的 VSCode 调试, 其中 `script/native.mk` 的修改为 (即去除默认的调试, 使用 VSCode 的调试功能进行调试运行):

```
--- .PHONY: run gdb run-env clean-tools clean-all $(clean-tools)
+++ .PHONY: run gdb vscode run-env clean-tools clean-all $(clean-tools)

+++ vscode: run-env
+++     $(call git_commit, "gdb")
```

第二个是 `launch.json`:

```
{
    "version": "0.2.0",
    "configurations": [
        {
            "name": "Debug nemu", // 配置名称, 将会在启动配置的下拉菜单中显示
            "type": "cppdbg", // 配置类型, 这里只能为cppdbg
            "request": "launch", // 请求配置类型, 可以为 launch (启动) 或 attach
            "program": "${workspaceRoot}/nemu/build/riscv32-nemu-interpreter",
            "stopAtEntry": false, // 设为 true 时程序将暂停在程序入口处
            "cwd": "${workspaceRoot}/nemu", // 调试程序时的工作目录
            "environment": [], // 环境变量
            "externalConsole": true, // 调试时是否显示控制台窗口, 一般设置为 true 显
            "MIMode": "gdb", // 指定连接的调试器, 可以为 gdb 或 lldb
            "preLaunchTask": "make", // 调试会话开始前执行的任务, 一般为编译程序. 与
            "postDebugTask": "kill", // 在退出之后, 执行 "killall -9 x-terminal-
        }
    ]
}
```

这个是使用 VSCode 进行调试的关键, 它先使用 `preLaunchTask` 执行了可执行程序的生成指令 `make vscode`, 然后再使用 gdb 运行并附加到 `/nemu/build/riscv32-nemu-interpreter` 这个编译生成的文件.

相当于命令 `gdb ./nemu/build/riscv32-nemu-interpreter`.

最后, 我们要注意, 使用 `make nemuconfig`, 然后开启选项:

```
Build Options
  [*] Enable debug information
```

这样就配置完成了, 我们可以很简单地在 VSCode 中配置断点, 并按下 F5 运行程序开始调试. 这不比 gdb 香? (不是

1.4 一个程序从哪里开始执行呢?

> **Question:** 一个程序从哪里开始执行呢?
>
> **Answer:** 如果只是按照我们在程序设计中学过的课程来说, 似乎就是从 `main()` 函数开始执行. 但实际上, 就算只是用我们已经学过的知识, 都可以知道不可能是从 `main()` 函数开始执行. 例如, **全局变量的初始化**应该放在什么地方呢? 一个程序从哪里开始执行, 我也许得等到学完了编译原理才能知道.

1.5 为什么全都是函数?

> **Question:** 阅读 `init_monitor()` 函数的代码, 你会发现里面全部都是函数调用. 按道理, 把相应的函数体在 `init_monitor()` 中展开也不影响代码的正确性. 相比之下, 在这里使用函数有什么好处呢?
>
> **Answer:** 好处是可读性更强, 并且可以将不同功能的代码分散到不同的文件中, 这样便更有条理, 不至于导致一个文件上千上万行的惨状.

1.6 参数的处理过程

> **Question:** `parse_args()` 的参数是从哪里来的呢?
>
> **Answer:** 从启动该程序时附带的参数中来. 例如我们常见的命令 `man xxx`, 其中 `man` 其实是一个程序, 我们要求其中这个叫 `man` 的程序, 而后面紧跟的 `xxx` 便是参数. 类似的, `parse_args()` 的参数就是从这里来的.

1.7 "reg_test()" 是如何测试你的实现的?

> **Question:** 阅读 `reg_test()` 的代码, 思考代码中的 `assert()` 条件是根据什么写出来的.
>
> **Answer:** `sample[R_EAX] & 0xff` 这种写法, 是取出 EAX 寄存器中的低 8 位, 于是 `assert(reg_b(R_AL) == (sample[R_EAX] & 0xff));` 就是判断两者是否一致, 其他的也类似.

1.8 究竟要执行多久?

> **Question:** 在 `cmd_c()` 函数中, 调用 `cpu_exec()` 的时候传入了参数 `-1`, 你知道这是什么意思吗?
>
> **Answer:** 仔细观察代码不难发现, `cpu_exec()` 定义为 `void cpu_exec(uint64_t)`, 即参数是无符号的. 于是我们传入的 `-1`, 实际上是变成了一个最大的数, 这样就能让程序一直运行, 直到退出为止.

1.9 潜在的威胁

> **Question:** "调用 `cpu_exec()` 的时候传入了参数-1", 这一做法属于未定义行为吗? 请查阅 C99 手册确认你的想法.
>
> **Answer:** 并不属于. `-1` 是有符号数, 有符号数转为无符号数的时候, 均为直接转换, `-1` 便会转为一个很大的无符号数, 这并不属于未定义行为.

1.10 谁来指示程序的结束?

> **Question:** 在程序设计课上老师告诉你, 当程序执行到 `main()` 函数返回处的时候, 程序就退出了, 你对此深信不疑. 但你是否怀疑过, 凭什么程序执行到 `main()` 函数的返回处就结束了? 如果有人告诉你, 程序设计课上老师的说法是错的, 你有办法来证明/反驳吗? 如果你对此感兴趣, 请在互联网上搜索相关内容.
>
> **Answer:** 并没有直接退出, 还需要释放各种资源, 如全局变量, 打开的文件, 设备等.

1.11 优美地退出

> **Question:** 之间键入 `q` 后退出, 会发现终端出现了错误信息 `make: *** [/home/orangex4/ics2021/nemu/scripts/native.mk:23: run] 错误 1`, 该怎么解决这个问题?
>
> **Answer:** 经过调试发现, 是最后 `main()` 调用 `is_exit_status_bad()` 的时候, `utils/state.c` 中的代码 `NEMUState nemu_state = { .state = NEMU_STOP };` 出现了错误, 这里应该是 "退出" 而不是 "停止", 因此, 修改为 `NEMUState nemu_state = { .state = NEMU_QUIT };` 之后, 代码就恢复了正常, 退出时也就不会报错了.

2. 阶段一: 基础设施

2.1 实现基本命令

基本命令实现起来没有太大的困难, 文档描述得十分详细, 只要先初步了解大致的代码架构, 就能往里面填充代码.

单步执行命令 `si [N]` 比较简单. 其最核心的代码, 就是调用函数 `cpu_exec(n)`. 理解了这一层, 就没有什么困难的地方了. 其他细节的地方, 例如 `atoi` 函数将字符串转为整数, 还有一些错误处理.

打印寄存器状态的命令 `info r` 稍微麻烦一点. 主要麻烦的地方在于, 不同的 ISA 有着不同的寄存器结构. 但是这也麻烦不到哪里去, 特别是对于 riscv32 架构, 打印起来寄存器信息相对比较简单.

在实现打印寄存器命令的时候, 我遇到的主要困难是不太清楚寄存器的数据的存储位置. 在认真阅读了代码之后, 我逐渐了解到, 只需要在 `isa_reg_display()` 函数中调用全局变量 `cpu`, 就能获取到寄存器信息. 对于 riscv32 架构来说, 就是 `cpu.gpr[i]._32`.

扫描内存的指令 `x N EXPR` 实现起来也不困难, 并且文档中也详细地写出了应该如何读取内存数据:

> 内存通过在 `nemu/src/memory/paddr.c` 中定义的大数组 `pmem` 来模拟. 在客户程序运行的过程中, 总是使用 `vaddr_read()` 和 `vaddr_write()` (在 `nemu/include/memory/vaddr.h` 中定义) 来访问模拟的内存. `vaddr` , `paddr` 分别代表虚拟地址和物理地址.

要注意的就是, 需要引入头文件 `include <memory/vaddr.h>` 才能使用 `vaddr_read()` 函数.

2.2 如何测试字符串处理函数?

> **Question:** 你可能会抑制不住编码的冲动: 与其RTFM, 还不如自己写. 如果真是这样, 你可以考虑一下, 你会如何测试自己编写的字符串处理函数?
>
> **Answer:** 使用简单的单元测试, 手动或自动构造测试样例, 并使用类似 `Assert()` 之类的方法进行测试.

2.3 实现单步执行, 打印寄存器, 扫描内存

> **Question:** 为了查看单步执行的效果, 你可以把nemu/include/common.h中的DEBUG宏打开, 这样以后NEMU会把单步执行的指令打印出来(这里面埋了一些坑, 建议你RTFSC看看指令是在哪里被打印的).
>
> **Answer:** DEBUG 宏已经是默认打开了的, 所以会有相应的显示. 可是我并没有发现 "埋了一些坑", 指令的打印输出是正确的, 对应的字节码也是正确的, 这点已经使用 `x 10 0x80000000` 打印对应字节码检测过了, 两者一致, 并没有发现有坑. 所以这个就等到之后再说吧.

3. 阶段二: 表达式求值

表达式求值部分相对麻烦一些, 特别是考虑到各种粗枝末节之后.

首先要完成表达式求值最基本的功能, 基础数学表达式的**词法分析**和**语法分析**.

3.1 词法分析

最简单的词法分析实现起来并不算太困难. 特别是允许使用正则表达式来进行词法, 让整个过程轻松了许多. 注意好转译, 加减乘除括号这些符号识别起来几乎没有任何难度；真正麻烦的是**数字**的识别.

最简单的识别数字的表达式应该是 `[0-9]+` , 匹配形如 `12345` , `01` , `100` 这样的**十进制数字**. (感谢 RegExr 让我可以很方便地书写正则表达式).

想要判断一个 "-" 是减号还是负号是一件麻烦的事, 古老的 `regcomp` 既不支持 `\d`, 也不支持 `negative lookbehind`. 那对于负数就没什么办法了, 只能用 `[0-9]+` 匹配出数字, 然后再根据前面有无数字, 从而判断是负号还是减号. 负号对应的是**单目操作符**, 减号对应的是**双目操作符**. 就这样, 解决了负数的问题.

还有一个血的教训: 使用 `strncpy(dest, str, n)` 进行字符串截取的时候, 一定要在后面加上一句 `dest[n] = '\0'`, 不然字符串没有结束符, 就会导致各种各样的奇怪 bug.

3.2 语法分析

实现数学表达式的求值, 我们可以用递归求值的方法. 文档中已经解释了大部分的代码和思路, 只需要简单地填入代码即可. 相当于我们只需要写 `check_parentheses(p, q)` 和 `get_op(p, q)` 这两个函数即可.

并且由于负数的引进, 增加了**单目运算符**, 因而代码也需要相应的更改.

3.3 单元测试

在实现表达式求值算法时, 很容易在细节的地方出 bug, 这时候, **单元测试**的重要性以及必要性就体现了出来. 于是我又加入了一个简单的命令 `test`, 并优化了 `Log` 的输出与开关, 就可以进行简单的单元测试了.

并且, 做好了随机测试算法, 生成了数千个样本, 在改了几个 bugs 之后, 全部样本都通过了:

(样本保存在 `nemu/tools/gen-expr/input` 中.)

3.4 为什么 "printf()" 的输出要换行?

> **Question:** 为什么 `printf()` 的输出要换行? 如果不换行, 可能会发生什么?
>
> **Answer:** 不换行的话, 输出内容会挤成一堆, 难以观看.

3.5 表达式生成器如何获得C程序的打印结果?

> **Question:** 表达式生成器如何获得C程序的打印结果?
>
> **Answer:** 使用 `popen()` 打开一个可执行文件之后, 可以使用 `fscanf()` 获取程序的输出内容. 其实这也恰好吻合了 Linux 的哲学: 一切皆文件. 我们可以用类似于操作文件读写的方式, 对可执行程序的输入输出进行读写.

3.6 为什么要使用无符号类型?

> **Question:** 我们在表达式求值中约定, 所有运算都是无符号运算. 你知道为什么要这样约定吗? 如果进行有符号运算, 有可能会发生什么问题?
>
> **Answer:** 如果进行有符号数的运算, 就可能会出现 "减号 + 负数" 的情况, 类似于 "1 - -1", 这时候 C 语言的编译器会认为 "--1" 是自减操作, 便会报错.

3.7 除 0 的确切行为

> **Question:** 如果生成的表达式有除0行为, 你编写的表达式生成器的行为又会怎么样呢?
>
> **Answer:** 如果有明显的除零行为, 例如 `1 / 0`, 编译器编译的时候就会报错, 即 `ret = system("gcc /tmp/.code.c -o /tmp/.expr")` 执行后 `ret` 就不等于零了. 但是对于复杂一点的除零行为, 例如 `1 / ( 0 / 1 )`, 编译器是检测不出来的, 这时候只能等到运行时才能报错, 即使用 `ret = pclose(fp)` 获取退出码, `ret` 不等于零, 代表未正常退出, 就说明表达式除零了, 得舍去.