

Lab. 2 二代编译器实验说明和要求

一、二代编译器功能描述

二代编译器将一种语法类似 C 语言的语句序列翻译为等价的汇编程序，所输出的汇编程序符合 X86 或 MIPS 汇编语言格式要求。若为 X86，可以在 Linux 环境下正常运行；若为 MIPS，可以在 spim 模拟器内正常运行。与 lab 1 不同的是，lab 1 提供了一个汇编的框架，用于管理程序执行入口点、函数栈帧等，这次二代编译器需要自行生成相关汇编代码。词法分析部分，可以使用类似 Flex 的工具实现，也可以手工实现。

（请大家使用 MIPS 汇编语言，X86 为参考）

二、二代编译器文法要求与语句示例

二代编译器能够处理的文法如下所示。

关键字: `int, return, main`

标识符¹: 符合 C89 标准的标识符 (`[A-Za-z_][0-9A-Za-z_]*`)

常量: 十进制整型，如 `1`、`223`、`10` 等

赋值操作符: `=`

运算符²: `+ - * / % < <= > >= == != & | ^`

标点符号: `; { } ()`

语句:

变量声明（单变量且无初始化） `int a;`

简单表达式赋值语句 `a = b&1;`

复杂表达式³赋值语句（仅限等级二） `a = (d+b&1)/(e!=3^b/c&&d);`

return 语句⁴ `return 0;`

函数调用⁴（只需支持预置函数） `println_int(a);`

-
1. 具体标准可参考 C89/C90 standard (ISO/IEC 9899:1990) 中 3.1.2 Identifiers 章节。
 2. `&`为按位与，`|`为按位或，`^`为按位异或。`<`等大小比较操作符，若为真则运算结果为 1，否则 0。这些操作符都是二元操作符。
 3. 操作符优先级与 C 语言相同（与 C89 标准相同）。
 4. 参数为常数或变量，不需要考虑参数为表达式的情况。

函数定义： 只需支持定义 `main` 函数即可

不带参数

```
int main(){...}
```

带参数

```
int main(int argc, int argv){...}
```

预置函数： 只需支持对预置函数的调用即可。`println_int(int a)`与C语言中`printf("%d\n", a)`有相同输出。

三、二代编译器输入输出样例

测试用例难度分为两个等级：其中等级一用例里，每个表达式中只含有一个二元操作符，且无括号；等级二用例里，同一个表达式中会有多个二元操作符，可能具有不同优先级，且包含可能有嵌套的括号。测试用例中，第一个等级测试用例占比 90%，第二个等级的测试用例占比 10%。

输入测试用例文件中 `Token` 之间可能没有分隔的字符，也可能存在多个连续的空格或者回车作为分隔。

评分依据：提交的编译器生成的汇编码，在形成并运行二进制可执行文件后，打印出的值是否符合预期。

输入样例：

```
int main() {  
    int a;  
    int b;  
    int c;  
    a = 1;  
    println_int(a);  
    b = 2;  
    println_int(b);  
    c = 114514;  
    println_int(c);  
    return 0;  
}
```

X86 汇编输出样例:

```
.intel_syntax noprefix # 使用 Intel 语法
.global main           # 声明 main 函数为全局符号，这使得链接器能够识别程序的入口点。

.extern printf          # 声明外部函数 printf，表示该函数在其他地方定义，通常是 C 标准库中。

.data                  # 开始数据段，用于定义程序中的初始化数据。
format_str:
    .asciz "%d\n"      # 定义一个用于 printf 的格式字符串，输出整数并换行。

.text                  # 开始代码段，包含程序的实际指令。
main:
    push ebp           # 将基指针寄存器 ebp 的当前值压入堆栈，保存上一个函数栈帧的基指针
    mov ebp, esp       # 将栈指针 esp 的值复制到基指针 ebp，设置新的栈帧基指针
    sub esp, 0x100     # 从栈指针 esp 减去 256 字节，为局部变量分配固定大小的栈空间

    # a = 1
    mov eax, 1
    mov DWORD PTR [ebp-4], eax

    push DWORD PTR [ebp-4] # 准备 printf 的参数
    push offset format_str
    call printf            # 调用 printf 函数
    add esp, 8             # 清理栈

    # b = 2
    mov eax, 2
    mov DWORD PTR [ebp-8], eax

    push DWORD PTR [ebp-8]
    push offset format_str
    call printf
    add esp, 8

    # c = 114514
    mov eax, 114514
    mov DWORD PTR [ebp-12], eax

    push DWORD PTR [ebp-12]
    push offset format_str
    call printf
```

```

add esp, 8

mov eax, 0    # 准备返回值
# 退出 main
leave
ret

```

MIPS 汇编输出样例:

```

.data
newline: .asciiz "\n" # 定义一个字符串，用于输出换行。
.text
.globl main           # 声明 main 函数为全局符号，使得模拟器能识别程序的入口点
main:
    move $fp, $sp     # 设置帧指针
    addiu $sp, $sp, -0x100 # 为局部变量分配栈空间

    li $v0, 1
    sw $v0, 0($sp)
    addiu $sp, $sp, -4
    lw $v0, 4($sp)
    sw $v0, -4($fp)
    addiu $sp, $sp, 4

    lw $a0, -4($fp)
    li $v0, 1
    syscall
    li $v0, 4
    la $a0, newline
    syscall

    li $v0, 2
    sw $v0, 0($sp)
    addiu $sp, $sp, -4
    lw $v0, 4($sp)
    sw $v0, -8($fp)
    addiu $sp, $sp, 4

    lw $a0, -8($fp)
    li $v0, 1
    syscall
    li $v0, 4
    la $a0, newline
    syscall

```

```

li $v0, 114514
sw $v0, 0($sp)
addiu $sp, $sp, -4
lw $v0, 4($sp)
sw $v0, -12($fp)
addiu $sp, $sp, 4

lw $a0, -12($fp) # 准备打印整数的系统调用的参数
li $v0, 1         # 设置系统调用号为 1, 即打印整数
syscall          # 系统调用
li $v0, 4         # 设置系统调用号为 4, 即打印字符串
la $a0, newline   # 准备系统调用参数
syscall          # 系统调用

li $v0, 0

move $v1, $v0     # 设置返回值
li $v0, 10        # 设置系统调用号为 10, 即退出程序
syscall          # 系统调用

```

打印结果样例:

```

1
2
114514

```

四、二代编译器实现参考

二代编译器可以使用 Flex 进行词法分析, 也可以选择手工生成方式, 然后生成 MIPS 代码。

1. 对 `println_int` 的函数调用

假设有一个预定义的函数 `println_int(int)`, 功能是将整数参数的值打印出来。

X86

利用 C 标准库中的函数 `printf` 实现。首先声明外部函数 `printf`, 再在数据段定义格式化字符串。

```

.extern printf    # 声明外部函数, 表示该函数已在别处定义, 通常是 C 标准库
.data            # 开始数据段, 用于定义程序中的初始化数据。
format_str:      # 定义一个用于 printf 的格式字符串, 输出整数并换行。
    .asciz "%d\n"

```

在需要调用 `println_int` 函数时，转化为对 `printf` 的调用。首先对这种情况下的 `printf` 的两个参数进行准备（参数压栈），然后调用，最终恢复压入参数的栈帧。

```
push DWORD PTR [ebp-8]    # 按顺序将参数压栈
push offset format_str
call printf               # 调用 printf
add esp, 8               # 恢复栈指针
```

MIPS

服务	Syscall 代码	参数
<code>print_int</code>	1	<code>\$a0 = integer</code>
<code>print_string</code>	4	<code>\$a0 = string</code>

利用 `syscall` 的组合实现。可翻译为：

```
lw $a0, x    # 将值从 x 表示的某处放到 $a0
li $v0, 1    # 1 表示打印 int，打印 $a0 的值
syscall
# 换行需要再将“\n”打印出来：
li $v0, 4
la $a0, newline
syscall
```

注意：需要在生成的 MIPS 代码前面数据段“.data”处使用“.asciiz”定义表示“\n”的 `newline`。

```
.data
newline: .asciiz "\n" # 定义一个字符串，用于输出换行。
```

五、二代编译器提交要求

实现语言：C++（语言标准 C++14）

编译环境：g++-11, cmake

测试环境：Ubuntu 22.04, gcc-11, spim

提交内容：所有编译 `cmake` 工程需要的文件，如 `.cpp`, `.h`, `.l`, `CMakeLists.txt` 源文件等；不需要提交 `build` 目录。

输入输出：实现的编译器有一个命令行参数，用于指明输入文件路径，编译器从该路径读取源码，并向 `stdout` 输出编译结果。

希冀平台提交方式：注册希冀平台 GitLab 帐号，创建 git 仓库，以仓库链接的方式提交。基本提交格式如下：

```
https://gitlab.eduxiji.net/myuser/myproj.git --branch=mybranchname
```

https://gitlab.eduxiji.net/myuser/myproj.git 为仓库地址

--branch= mybranchname 指定分支

当你提交时，应该将 myuser 替换为你的希冀平台 GitLab 账号名称，myproj 替换为你创建的 git 仓库名称，mybranchname 替换为你创建的分支名称。

注：为防止个人源码泄露，需要将创建的 git 仓库设置为 private（私有）。

详情可查看附件《希冀平台 gitlab 简易使用参考》。

注：g++用于编译你提交的编译器实验源码。若选择输出 x86 汇编，gcc 用于将你的编译器实验输出的 x86 汇编码编译成可执行文件，用于测试。若选择输出 MIPS 汇编，spim 用于模拟执行你的编译器实验输出的 MIPS 汇编码，用于测试。gcc 使用的编译选项为 -m32 -no-pie。

CMake 工程文件相关说明

你会收到一个 CMakeLists.txt 文件，CMakeLists.txt 的文件的内容类似于下列内容：

```
cmake_minimum_required(VERSION 3.16)
project(lab02)
set(CMAKE_CXX_STANDARD 14)
add_compile_options(-pedantic)
# add_compile_options(-fsanitize=address)
# add_link_options(-fsanitize=address)
add_executable(Compilerlab2
    .....
)
target_compile_features(Compilerlab2 PRIVATE cxx_std_14)
```

add_executable 的目标必须是 Compilerlab2，这就是编译得到的可执行文件的名称，评测系统会直接运行这个可执行文件进行评测。每有一个自行编写的.cpp 源文件，都需要将其加入到 add_executable 中省略号所在位置，如下：

```
add_executable(Compilerlab2
    main.cpp
    parser.cpp
```

```

    utils.cpp
    asm_writer.cpp
)

```

.h 头文件不需要添加到这里，编译器在编译时会与 .cpp 源文件相同的目录下自动查找头文件。

如果使用 Flex 实现词法分析，则需要新建一个文件 `lexer.l`，在其中编写 Flex 词法规则，并修改 `CMakeLists.txt` 文件如下，并同样也在省略号处添加自行编写的 .cpp 源文件：

```

cmake_minimum_required(VERSION 3.16)
project(lab02)
set(CMAKE_CXX_STANDARD 14)

# 使用 cmake 的 flex 模块
include(FindFLEX)
if(FLEX_FOUND)
    message("Info: flex found!")
else()
    message("Error: flex not found!")
endif()

# 为了 flex 新增头文件搜索路径
include_directories(${CMAKE_SOURCE_DIR})
# 指定 flex 编译目标
FLEX_TARGET(MyScanner lexer.l ${CMAKE_CURRENT_BINARY_DIR}/lexer.cpp)

add_compile_options(-pedantic)
# add_compile_options(-fsanitize=address)
# add_link_options(-fsanitize=address)
add_executable(Compilerlab2
    .....
    ${FLEX_MyScanner_OUTPUTS}
)
target_compile_features(Compilerlab2 PRIVATE cxx_std_14)

```

如需使用 `cmake` 进行编译，在命令行中执行以下命令即可：

```

mkdir build
cd build
cmake ..
cmake -build .

```

编译产物（你编写的编译器）即为 `build/Compilerlab2`。

VS Code、CLion 等编辑器或 IDE 可以方便地管理 CMake 工程，有需要的同

学可以自行搜索相关说明。

若你想自行执行汇编代码并调试

X86:

在自行插入完代码后，在 Linux 终端中执行

```
gcc -m32 -no-pie <输入汇编文件> -o <输出可执行文件>
./<输出可执行文件>
```

即可观察到输出结果。

注：在一些机器上，你可能需要添加 i386 架构的包才能正确执行以上操作，参考命令如下

```
sudo dpkg --add-architecture i386
sudo apt-get update
sudo apt-get install libc6:i386 libstdc++6:i386 gcc-multilib
```

MIPS:

在自行插入完代码后，在终端中执行以下命令即可观察到输出结果。

```
spim -file <输入汇编文件>
```

或者使用跨平台的可视化 mips 模拟器 QtSpim。

六、如何检查自己的代码

在 lab 1 中，有同学遇到了这些问题：为什么明明在自己本机上运行程序的结果符合预期，但是在评测平台上会出错？为什么程序会奇怪地 segment fault 崩溃？

一个可能的原因是，编写的代码不完全符合 C++ 语言标准，出现了未定义行为，例如数组越界访问、使用未初始化的变量，导致在不同环境下有不同的运行结果，或有其它细节上的错误。可以给编译器增加 "-pedantic" 参数，要求编译器对不标准的代码进行告警。也可以使用 Address Sanitizer (ASAN)，快速检测内存错误，用法是给编译器和链接器增加 "-fsanitize=address" 参数，编译后正常运行即可。

lab2 提供的 CMake 工程里已经预先启用了 pedantic 参数，但因为 ASAN 打印多余的字符，所以没有启用 ASAN。如果需要启用，可以参考以下

CMakeLists.txt 文件内容，添加相关编译器与链接器参数。

```
cmake_minimum_required(VERSION 3.16)
project(lab02)
.....
add_compile_options(-pedantic)
add_compile_options(-fsanitize=address)    # 看我
add_link_options(-fsanitize=address)       # 看我
add_executable(Compilerlab2
.....
)
```

七、部分用于评测的测试用例

见附件