

Lab. 4 四代编译器实验说明和要求

一、四代编译器功能描述

四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。词法分析和语法分析部分，可以使用类似 Flex 和 Bison 的工具实现，也可以手工实现。

二、四代编译器文法要求与语句示例

四代编译器能够处理的文法如下所示。

关键字：	int, return, main, void, if, else, while, continue, break
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 ：	
一元运算符：	- ! ~
二元运算符 ³ ：	+ - * / % < <= > >= == != & ^ &&
标点符号：	; { } ()
语句：	
变量声明 ⁴	int a, b=111, c=1+3;
表达式赋值语句	a = (d+b&1)/(e!=3^b/c&d); a = b+c;

-
1. 具体标准可参考 C89/C90 standard (ISO/IEC 9899:1990) 中 3.1.2 Identifiers 章节。
 2. 操作符优先级与 C 语言相同（与 C89 标准相同）。
 3. &为按位与，|为按位或，^为按位异或。<等大小比较与逻辑运算符，若为真则运算结果为 1，否则 0。考虑或不考虑运算符短路都可以，我们规定所有**表达式**（除了单独一个函数调用形成的**表达式**）没有副作用，即不会产生输入输出，也不会修改其它变量、内存的值。这意味着，不会通过运算符短路的方式产生递归调用。请注意**表达式**和**语句**的区别。
 4. 可能为单变量或多变量，且可能有初始化。

return 语句 ⁵	return a+b; return func(a);
函数调用 ⁵	println_int(a+b);
条件语句	if (condition ⁶) { ... ⁷ }
	if (condition ⁶) { ... ⁷ } else { ... ⁷ }
循环语句	while (condition ⁶) { ... ⁸ }
循环控制语句	continue;
	break;

函数定义:

不带参数	int func(){...}
	void func() {...}
带参数	int func(int a, int b){...}
	void func(int a, int b){...}

预置函数: 在自定义函数外, 还需支持对预置函数的调用。

println_int(int a) 与 C 语言中 printf("%d\n", a) 有相同输出

-
5. 参数可能为常数、变量、**表达式**。
 6. 条件是一个**表达式**, 若结果为 0 则为假, 否则为真。考虑或不考虑运算符短路都可以, 我们规定这里的**表达式** (除了单独一个函数调用形成的**表达式**) 没有副作用, 即不会产生输入输出, 也不会修改其它变量、内存的值。这意味着, 不会通过运算符短路的方式产生递归调用。
 7. 这里可能是 0 个、1 个或多个任意**语句** (不包括循环控制语句 continue、break); 注意多个条件语句、循环语句嵌套的情况。
 8. 这里可能是 0 个、1 个或多个任意**语句** (包括循环控制语句 continue、break); 注意多个条件语句、循环语句嵌套的情况。

三、四代编译器输入输出样例

测试用例难度只有一个等级，部分用例会公开在实验平台上。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：

x86 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。

MIPS 提交的编译器生成的汇编码，在 spim 模拟器里执行后，打印出的值是否符合预期。

输入样例：

```
int main() {  
    int i = 0;  
    while (i < 5) {  
        if (i % 2 == 0) {  
            println_int(i);  
        }  
        i = i + 1;  
    }  
    return 0;  
}
```

X86 汇编输出样例:

```
.intel_syntax noprefix
.global main
.data
format_str:
.asciz "%d\n"
.extern printf
.text
main:
    push ebp
    mov ebp, esp
    sub esp, 8
    push 0
    pop eax
    mov DWORD PTR[ebp-4], eax
.L_while_cond_1:
    mov eax, DWORD PTR[ebp-4]
    push eax
    push 5
    pop ebx
    pop eax
    cmp eax, ebx
    setl al
    movzx eax, al
    push eax
    pop eax
    cmp eax, 0
    je .L_while_end_1
    mov eax, DWORD PTR[ebp-4]
    push eax
    push 2
    pop ebx
    pop eax
    cdq
    idiv ebx
    mov eax, edx
    push eax
    push 0
    pop ebx
    pop eax
    cmp eax, ebx
    sete al
    movzx eax, al
    push eax
    pop eax
    cmp eax, 0
    je .L_if_end_1
    mov eax, DWORD PTR[ebp-4]
    push eax
    push offset format_str
    call printf
    add esp, 4
    add esp, 4
.L_if_end_1:
    mov eax, DWORD PTR[ebp-4]
    push eax
    push 1
    pop ebx
    pop eax
    add eax, ebx
    push eax
    pop eax
    mov DWORD PTR[ebp-4], eax
    jmp .L_while_cond_1
.L_while_end_1:
    push 0
    pop eax
    leave
    ret
```

MIPS 汇编输出样例:

```
.globl main
.data
.text
main:
    move $fp, $sp
    addiu $sp, $sp, -8
    li $v0, 0
    sw $v0, 0($sp)
    addiu $sp, $sp, -4
    lw $t0, 4($sp)
    sw $t0, -4($fp)
    addiu $sp, $sp, 4
$while_cond_1:
    lw $v0, -4($fp)
    sw $v0, 0($sp)
    addiu $sp, $sp, -4
    li $v0, 5
    sw $v0, 0($sp)
    addiu $sp, $sp, -4
    lw $t1, 4($sp)
    lw $t0, 8($sp)
    addiu $sp, $sp, 8
    slt $t0, $t0, $t1
    sw $t0, 0($sp)
    addiu $sp, $sp, -4
    lw $t0, 4($sp)
    addiu $sp, $sp, 4
    beq $t0, $zero, $while_end_1
    lw $v0, -4($fp)
    sw $v0, 0($sp)
    addiu $sp, $sp, -4
    li $v0, 2
    sw $v0, 0($sp)
    addiu $sp, $sp, -4
    lw $t1, 4($sp)
    lw $t0, 8($sp)
    addiu $sp, $sp, 8
    div $t0, $t1
    mfhi $t0
    sw $t0, 0($sp)
    addiu $sp, $sp, -4
    li $v0, 0
    sw $v0, 0($sp)
    addiu $sp, $sp, -4
    lw $t1, 4($sp)
    lw $t0, 8($sp)
    addiu $sp, $sp, 8
    seq $t0, $t0, $t1
    sw $t0, 0($sp)
    addiu $sp, $sp, -4
    lw $t0, 4($sp)
    addiu $sp, $sp, 4
    beq $t0, $zero, $if_else_1
    lw $v0, -4($fp)
    sw $v0, 0($sp)
    addiu $sp, $sp, -4
    lw $a0, 4($sp)
    li $v0, 1
    syscall
    li $v0, 11
    li $a0, 0x0A
    syscall
    addiu $sp, $sp, 4
    j $if_end_1
$if_else_1:
$if_end_1:
    lw $v0, -4($fp)
```

```

sw $v0, 0($sp)
addiu $sp, $sp, -4
li $v0, 1
sw $v0, 0($sp)
addiu $sp, $sp, -4
lw $t1, 4($sp)
lw $t0, 8($sp)
addiu $sp, $sp, 8
add $t0, $t0, $t1
sw $t0, 0($sp)
addiu $sp, $sp, -4
lw $t0, 4($sp)
sw $t0, -4($fp)
addiu $sp, $sp, 4
j $while_cond_1
$while_end_1:
li $v0, 0
sw $v0, 0($sp)
addiu $sp, $sp, -4
lw $v0, 4($sp)
addiu $sp, $sp, 4
li $v0, 10
syscall

```

打印结果样例：

```

0
2
4

```

四、四代编译器实现参考

四代编译器可以使用 Flex、Bison 进行词法分析和语法分析，也可以选择手工生成方式，然后经过语义分析、中间代码生成，最后生成 x86 或 MIPS 代码。

条件语句 if-else、循环语句 while 和循环控制语句 continue、break 的代码生成，参考对应章节内容，或者常见编译器的输出即可。

当遇到多层嵌套的 while 循环语句时，循环控制语句 continue、break 需要正确地跳转到所属循环的特定位置。我们可以维护一个跳转 label 的栈，每进入一层循环语句，就将新的 label 入栈，break、continue 时使用栈顶的 label 进行跳转，退出循环语句后 label 出栈，这样就可以确定正确的跳转位置了。

你的四代编译器需要能够正常处理函数递归。

五、四代编译器提交要求

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, .y, CMakeLists.txt 源文件等，整理为压缩包提交。不需要提交 build、.git 等目录。

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。

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。gcc 使用的编译选项为 -m32 -no-pie。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。

CMake 工程文件相关说明

你会收到一个含有 CMakeLists.txt 等文件的工程框架。CMakeLists.txt 的文件的内容类似于下列内容：

```
cmake_minimum_required(VERSION 3.16)
project(lab03)
set(CMAKE_CXX_STANDARD 14)
# add_compile_options(-fsanitize=address)
# add_link_options(-fsanitize=address)
add_executable(Compilerlab4
    main.cpp
    utils.cpp
    codegen.cpp
)
target_compile_features(Compilerlab4 PRIVATE cxx_std_14)
```

add_executable 的目标必须是 Compilerlab4，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(Compilerlab4
        main.cpp
        parser.cpp
        utils.cpp
    )

```

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

如果使用 Flex 和 Bison 实现词法分析、语法分析，则需要新建一个文件 `lexer.l`，在其中编写 Flex 词法规则，新建一个文件 `grammar.y`，在其中编写 Bison 词法分析规则；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(lab04)
set(CMAKE_CXX_STANDARD 14)
include(FindFLEX)
include(FindBISON)
if(FLEX_FOUND)
    message("Info: flex found!")
else()
    message("Error: flex not found!")
endif()
if(BISON_FOUND)
    message("Info: bison found!")
else()
    message("Error: bison not found!")
endif()
include_directories(${CMAKE_SOURCE_DIR})
include_directories(${CMAKE_BINARY_DIR})
FLEX_TARGET(MyLexer lexer.l ${CMAKE_CURRENT_BINARY_DIR}/lexer.cpp)
BISON_TARGET(MyParser grammar.y ${CMAKE_CURRENT_BINARY_DIR}/parser.cpp)
ADD_FLEX_BISON_DEPENDENCY(MyLexer MyParser)
# add_compile_options(-fsanitize=address)
# add_link_options(-fsanitize=address)
add_executable(Compilerlab4
    main.cpp
    utils.cpp
    CodeGen.cpp
    ${FLEX_MyLexer_OUTPUTS}
    ${BISON_MyParser_OUTPUTS}
)
target_compile_features(Compilerlab4 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/Compilerlab4**。

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

在之前的实验中，很多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。

lab4 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(lab04)
.....
add_compile_options(-pedantic)
add_compile_options(-fsanitize=address -g)    # 看我
add_link_options(-fsanitize=address)         # 看我
add_executable(Compilerlab4
.....
)
```

七、部分用于评测的测试用例

见附件