**深 圳 大 学 实 验 报 告**

**课 程 名 称： 计算机系统(3)**

**实验项目名称： MIPS指令集实验**

**学 院： 计算机与软件学院**

**专 业： 计算机科学与技术**

**指 导 教 师： 刘刚**

**报告人： 吴嘉楷 学号： 2022150168 班级： 国际班**

**实 验 时 间： 2023年9月25日**

**实验报告提交时间： 2023年10月7日**

**教务处制**

**一、 实验目标：**

了解WinMIPS64的基本功能和作用；

熟悉MIPS指令、初步建立指令流水执行的感性认识；

掌握该工具的基本命令和操作，为流水线实验作准备。

**二、实验内容**

按照下面的实验步骤及说明，完成相关操作**记录实验过程的截图**：

1）下载WinMIPS64；运行样例代码并观察软件各个观察窗口的内容和作用，掌握软件的使用方法。（80分）

2）学会正确使用WinMIPS64的IO方法；（10分）

3）编写完整的z；（10分）

**三、实验环境**

硬件：桌面PC

软件：Windows，WinMIPS64仿真器

**四、****实验步骤及说明**

WinMIPS64是一款指令集模拟器，它是基于WinDLX设计的，如果你对于WinDLX这款软件十分熟悉的话，那么对于WinMIPS64也会十分的容易上手。DLX 处理器 (发音为 "DeLuXe")是Hennessy 和Patterson合著一书《**Computer Architecture - A Quantitative Approach**》中流水线处理器的例子。WinDLX是一个基于Windows的模拟器。

本教程通过一个实例介绍WinMIPS64的使用方法。WinMIPS64模拟器能够演示MIPS64流水线是如何工作的。

本教程使用的例子非常简单，它并没有囊括WinMIPS64的各个方面，仅仅作为使用WinMIPS64的入门级介绍。如果你想自己了解更多的资料，在给出的winmips64.zip中，有WinMIPS64 — Documentation Summary.html和winmipstut.docx两个文件可以供你随时参考，其中涵盖了WinMIPS64的指令集和模拟器的组成与使用方法。

虽然我们将详细讨论例子中的各个阶段，但你应具备基本的使用Windows的知识。现假定你知道如何启动 Windows，使用滚动条滚动，双击执行以及激活窗口。

（一）、安 装

请按以下步骤在Windows下安装WinMIPS64 ：

1. 为WinMIPS64 创建目录，例如**D:\ WinMIPS64**
2. 解压给出的winmips64.zip压缩文件到创建的目录中。



图1 解压winmips64.zip压缩文件到C:\WinMips64路径下

（二）、一个完整的例子

1. **开始和配置WinMIPS64**

在winmips64这个子目录下，双击winmips64.exe文件，即打开了WinMIPS64模拟器，其外观如下图：

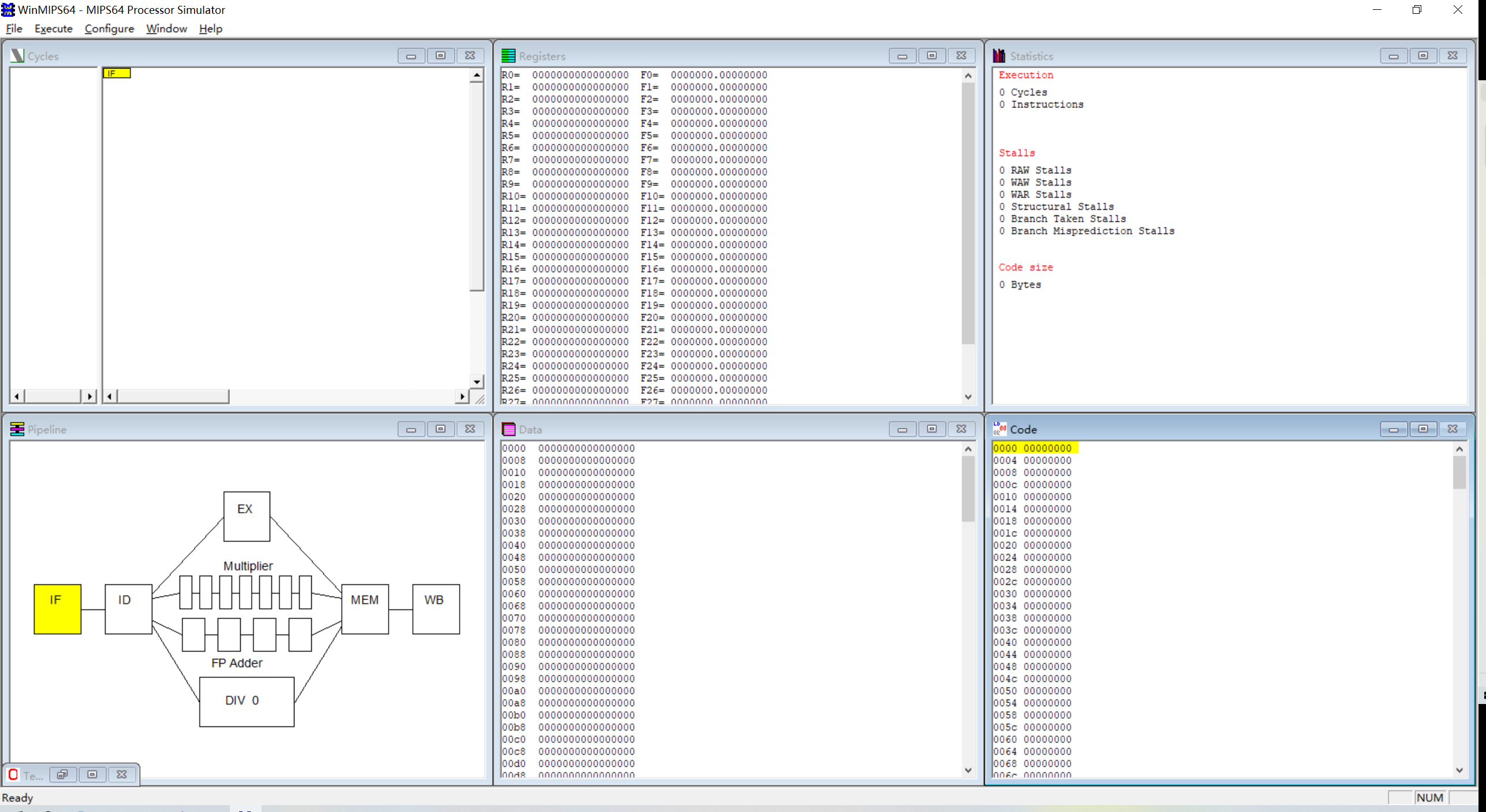


图2 WinMIPS64模拟器的首页面

为了初始化模拟器, 点击***File*** 菜单中的 ***Reset all*（Ctrl+R）** 菜单项即可。

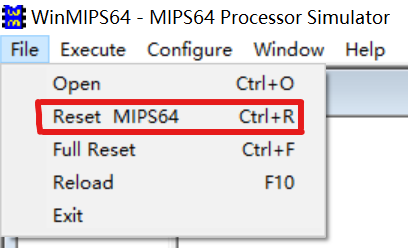


图3 File菜单中的***Reset all****菜单项*

**OKOK**

WinMIPS64可以在多种配置下工作。你可以改变流水线的结构和时间要求、存储器大小和其他几个控制模拟的参数。点击 ***Configuration*** /***Floating Point Stages***（点击***Configuration***打开菜单，然后点击***Architecture***菜单项），选择如下标准配置：

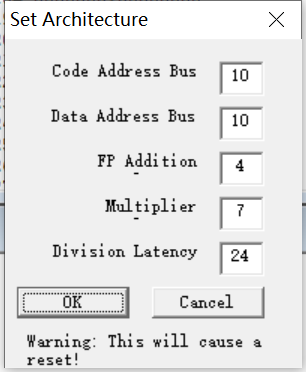


图4 ***Configuration***菜单中的***Architecture***菜单项

如果需要，可以通过点击相应区域来改变设置。然后，点击***OK*** 返回主窗口。

在 ***Configuration*** 菜单中的其他四个配置也可以设置，它们是：***Multi-Step, Enable Forwarding, Enable Branch Target Buffer*** 和 ***Enable Delay Slot***。 点击相应菜单项后， 在它的旁边将显示一个小钩。 此处不设置任何项。

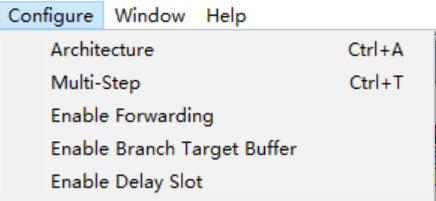


图5 ***Configuration***菜单

**2. 装载测试程序**

用标准的text编辑器来新建一个名为sum.s的文件，这个文件的功能是，计算两个整数A、B之和，然后将结果传给C。程序如下：

.data

A: .word 10

B: .word 8

C: .word 0

.text

main:

ld r4,A(r0)

ld r5,B(r0)

dadd r3,r4,r5

sd r3,C(r0)

halt

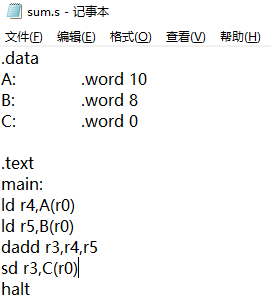


图6 创建并编辑sum.s文件

在将该程序装载进WinMIPS64之前，我们必须用asm.exe来检验该输入程序的语法正确性。asm.exe程序文件在所给的winmips压缩包里有，用命令行使用它。具体操作为，打开终端，利用cd命令进到**D:\ WinMIPS64**目录中，然后直接使用asm.exe sum.s命令，检查输出结果是否无误。

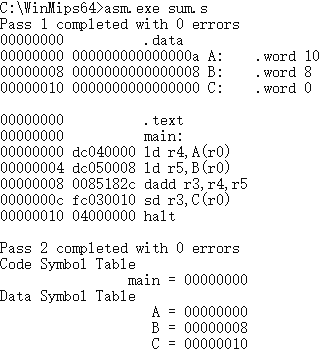


图7 检测输入程序的语法正确性

在开始模拟之前，至少应装入一个程序到主存。为此，选择***File*** / ***OPEN***，窗口中会列出当前目录中所有汇编程序，包括sum.s。

按如下步骤操作，可将这个文件装入主存。

点击 **sum.s**

点击 ***open*** 按钮

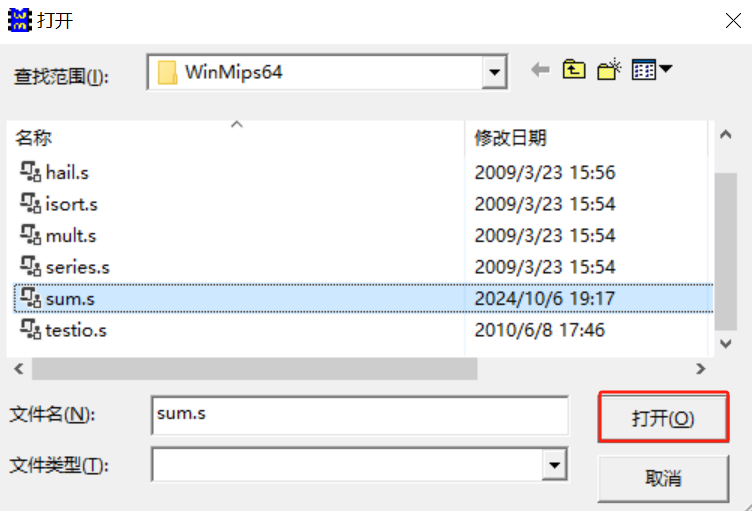


图8 将sum.s文件装入主存

现在，文件就已被装入到存储器中了，现在可以开始模拟工作了。

你可以在***CODE***窗口观察代码内容，可以在***DATA***窗口观察程序数据了。

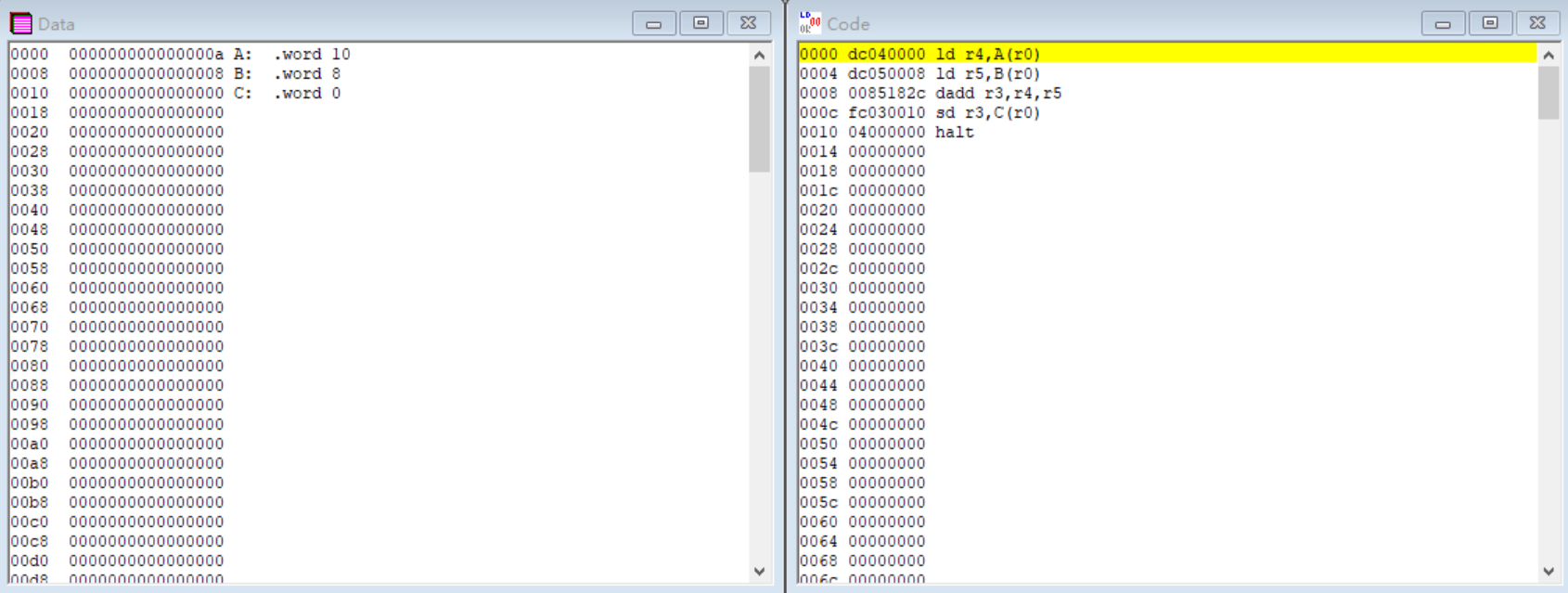


图9 装入程序后Code、Data窗口的视图

**3. 模 拟**

在主窗口中，我们可以看见七个子窗口，和一条在底部的状态栏。这七个子窗口分别是**Pipeline**, **Code**, **Data**, **Registers**, **Statistics**, **Cycles**和**Terminal**。在模拟过程中将介绍每一个窗口的特性和用法。

#### (1) *Pipeline* 窗口

在***Pipeline***窗口中，展示了**MIPS64处理器的内部结构**，其中包括了MIPS64的五级流水线和浮点操作（加法/减法，乘法和除法）的单元。展示了处于不同流水段的指令。

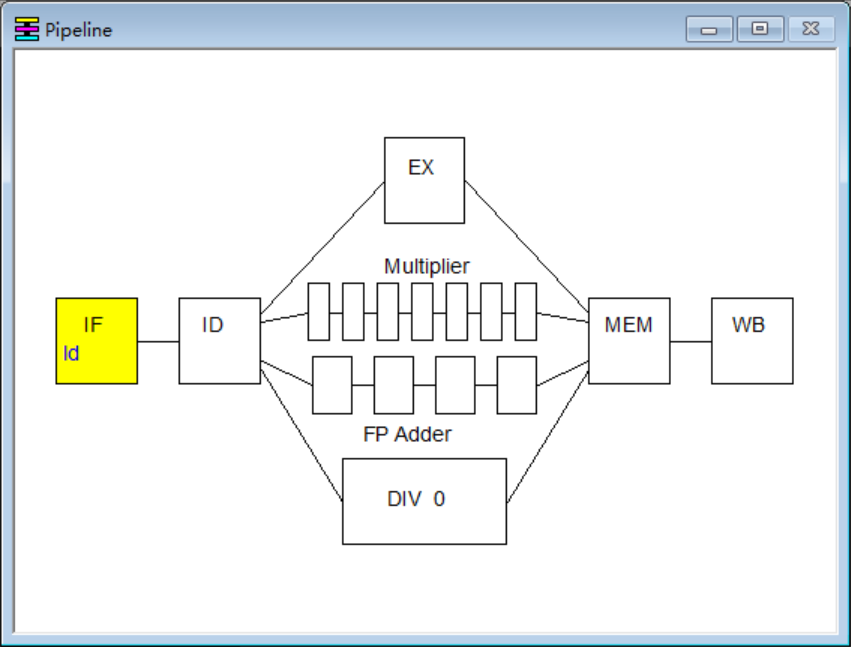


图10 ***Pipeline***窗口

#### (2) *Code* 窗口

我们来看一下 ***Code*** 窗口。你将看到代表存储器内容的三栏信息，从左到右依次为：地址 (符号或数字)、命令的十六进制机器代码和汇编命令。

我们可以看到，初始时，第一行为黄色，表示该行指令处于“取指”阶段。

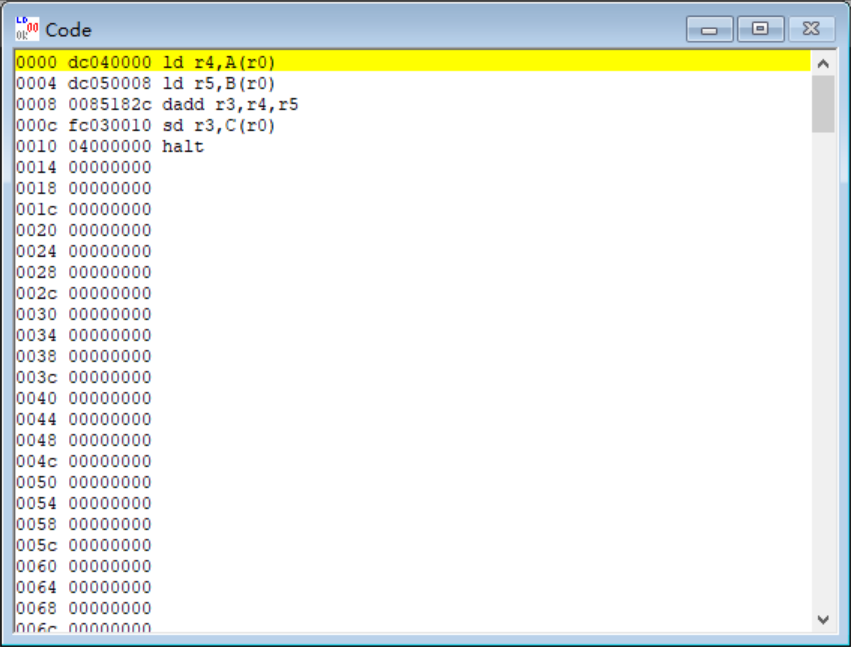


图11 ***Code***窗口

现在，点击主窗口中的 ***Execution***开始模拟。在出现的下拉式菜单中，点击***Single Cycle***或按 ***F7***键。

这时，第一行变成了了蓝色，第二行变成了黄色，这表示第一行指令处于“译码”阶段，而第二行指令处于“取指”阶段。这些不同的颜色代表指令分别处于不同的流水线阶段。黄色代表“取指”，蓝色代表“译码”，红色代表“执行”，绿色代表“内存数据读或写”，紫色代表“写回”。

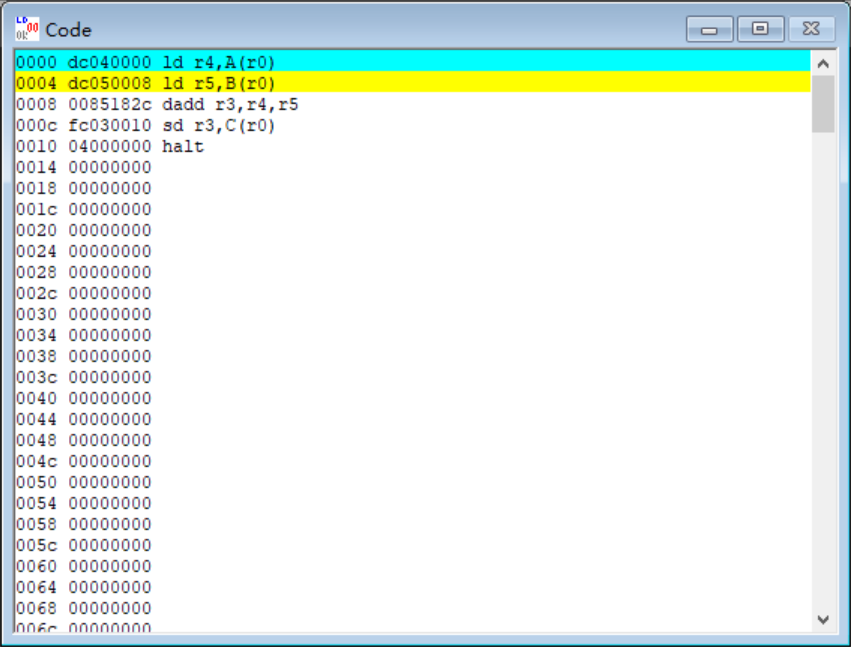


图12 按一次F7之后的结果

接着按F7，直到第五个时钟周期的时候，有趣的事情发生了，“dadd r3，r4，r5”指令没有从“译码”跳到其下一个流水阶段“执行”，并且“sd r3，C(r0)”指令，仍然停留在“取指”阶段，同时在***terminal***窗口显示一行信息“RAW Stall in ID (RS)”，思考一下这是为什么？

由于指令“ld r4,A(r0)”正处于写回阶段，导致 r4 寄存器的值尚未可用。同时，r5 寄存器的值也因指令“ld r5,B(r0)”处于内容读写状态不可用。而后续指令“dadd r3, r4, r5”需要 r4 和 r5 两个寄存器的值来执行。因此，这条数据加法指令（dadd）无法继续执行，造成了指令的停滞。

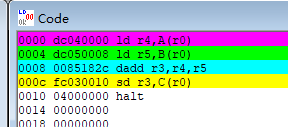


图13 第五个时钟周期Code窗口

#### (3) *Cycls*窗口

我们将注意力放到***Cycls***窗口上。它显示流水线的时空图。

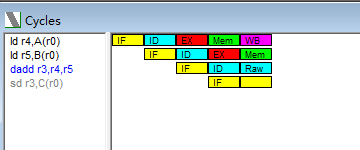


图14 Cycles窗口

接着点击***F7***，到第五个时钟周期时，再次发生相关，造成停滞。如图14所示，在Cycls窗口中，模拟正在第五时钟周期，第一条指令正在WB段，第二条命令在MeM段，第四条命令在处于暂停状态（installed），第五条指令也因此停滞不前。这是因为发生了数据相关（第四条指令的dadd命令需要用到寄存器r5的值，但是r5的值并不可用）。

接着点击***F7***，直至第十三个时钟周期全部指令执行结束。

值得一提的是，***Cycls***窗口是分为两个子窗口的，左边的子窗口是一系列的指令，右边的窗口是图示的指令执行过程。其中，左边子窗口的命令是动态出现的，当一条指令在进行“取指”时，该指令才出现，而且，当出现了数据相关的时候，所涉及到的指令会变色，暂停的指令会变成蓝色，而被其影响的后续指令会变成灰色。

#### (4) *Data* 窗口

在***Data***中，我们可以观察到内存中的数据，包括数据内容和地址两个方面，其中地址使用64位表示。

如果想改变一个整型的数据的值，左键双击该值所在的行，如果是想改变一个浮点类型的数据的值，那么请右键双击该值所在的行。

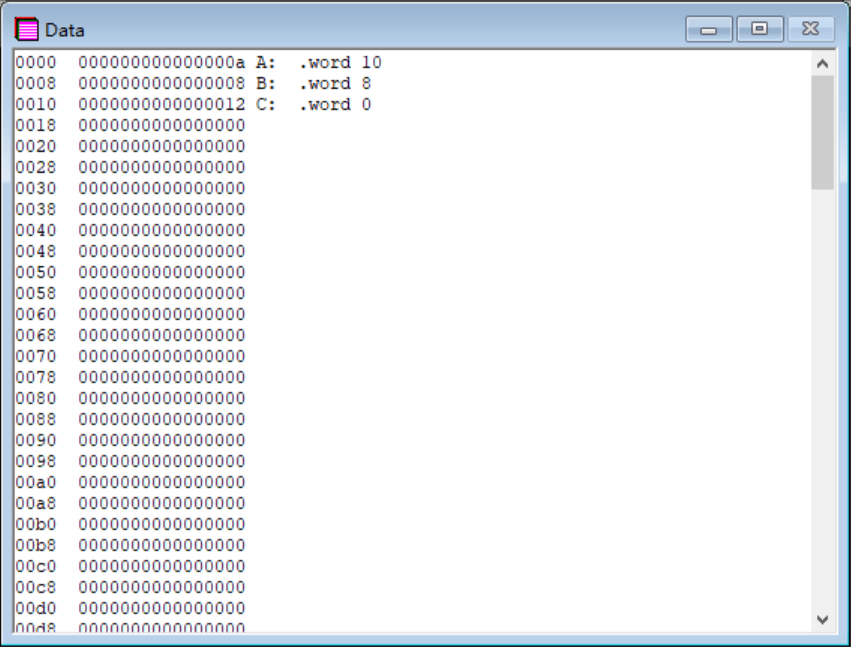


图15 第十三个时钟周期的***data***窗口

上图即为第十三个时钟周期的***data***窗口的图示，其中，左边一行即为用64位表示的内存地址，中间行为数据的内容，右边的一行为相关的代码。可以看出，在这个时钟周期，A与B的值分别为0xa和0x8，C的值为0x12，表明A与B的值之和已经相加并保存到了C中。

#### (5) *Registers* 窗口

这个窗口显示存储在寄存器中的值。

如果该寄存器为灰色，那么它正处于被一条指令写入的过程，如果它用一种颜色表示，那么就代表，该颜色所代表的的流水线阶段的值可以用来进行前递（forwarding）。同时，这个窗口允许你交互式的该变寄存器的值，但是前提是该寄存器不能处于被写入或者前递的阶段。如果想改变一个整型的数据的值，左键双击该值所在的行，如果是想改变一个浮点类型的数据的值，那么请右键双击该值所在的行，然后按***OK***来进行确定。

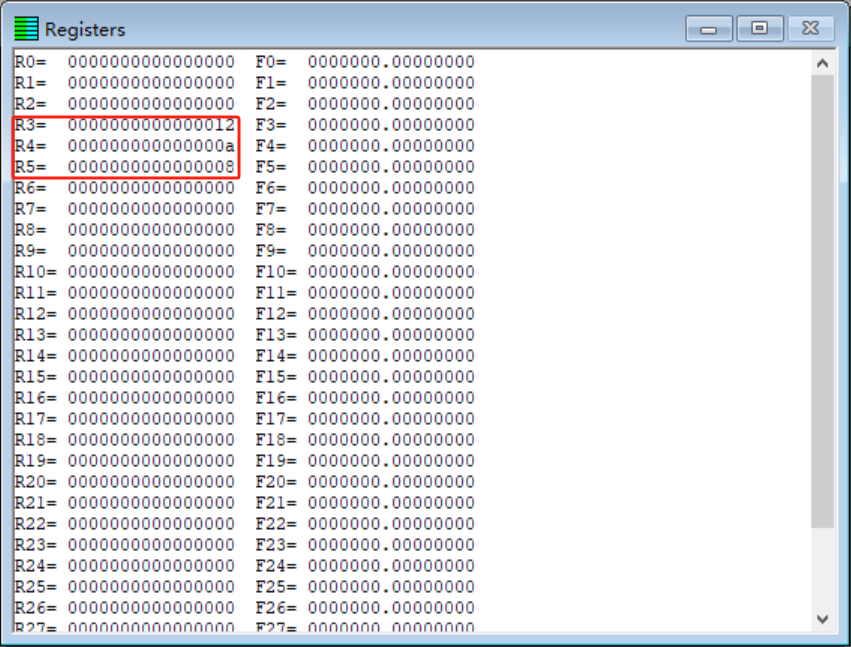


图16 第十三个时钟周期的***Registers***窗口

上图即为第十三个时钟周期的***Registers***窗口的图示，很显然，其中可以很清楚的看出每个寄存器的值是什么。

#### (6) *Statistics* 窗口

最后我们来看一下***Statistics*** 窗口。

这个窗口是用来记录一些模拟周期的统计数据。其中包括***Execution***，***Stalls***，和***Code Size***三个大项。其中，***Execution***用来显示模拟周期中指令数，执行周期数和CPI（没条指令所用周期数），***Stalls***用来表示暂停的周期数，并且分门别类的进行了统计，其中包括***RAW Stalls***，***WAW Stalls***，***WAR Stalls***, ***Structural Stalls***, ***Branch Taken Stalls***和***Branch misprediction Stalls***。***Code Size***表示了代码的大小，用***byte***表示。

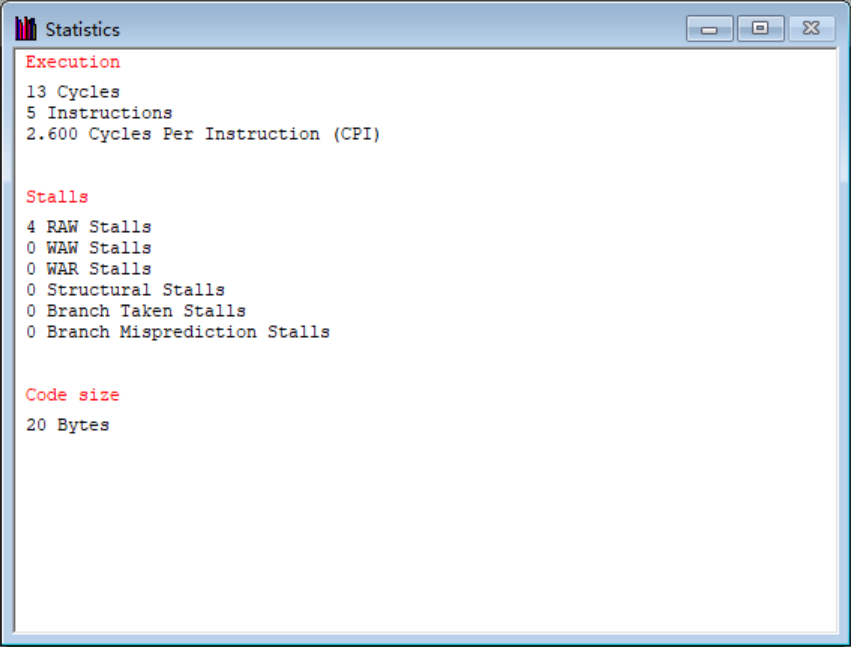


图17 ***Statistics*** 窗口

上图即为***Statistics***窗口的图示，其中表示了该程序有13个时钟周期，5条指令，CPI

为2.600，有4个***RAW Stalls***，代码大小为20个Bytes。

（三）、更多操作

首先，点击File/Reset MIPS64（ctrl + R）进行重置。如果你点击File/Full Reset，你将删除内存中的数据，这样你就不得不重新装载文件，所以点击File/Reload（F10）是一个很方便的重置的方法。

你可以一次推进多个时钟周期，方法是点击Execute/Multi cycle（F8），而多个时钟周期数是在Configure/Multi-step中设置的。

你也可以通过按F4一次完成整个程序的模拟。同时，你可以设置断点，方法是，在Code窗口中左键双击想要设置断点的指令，该指令会变成蓝色，然后点击F4，程序就会停在这条指令执行“ 取指”的阶段，如果想要清除断点，再次左键双击改行指令。

（四）、终端I/O的简单实例

通过上面对WinMIPS64的了解，我们可以开始简单的使用该工具了。

这里，需要我们编写一个简单的终端输出“Hello World！！”的小程序，运行并且截图。所以，我们需要了解如何将数据在终端中输出输入。

下图是I/O区域的内存映射，一个是控制字，一个是数据字：

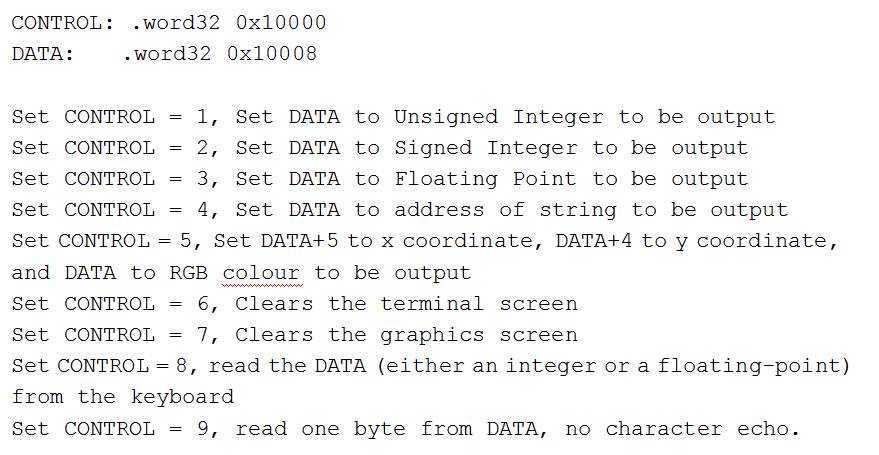


图18 I/O区域的内存映射

所以我们需要先将CONTROL和DATA地址读取到寄存器，然后分别在这两个区域内存储相应的序列号（如上图所示）和要显示在Terminal窗口的数据，同时，设置CONTROL为9，我们能对其进行读取数据。

请编写完整程序，输出“Hello World!”字符串。我们需要设置CONTROL为4，从而将地址0x10008的内容进行输出，程序代码如下：

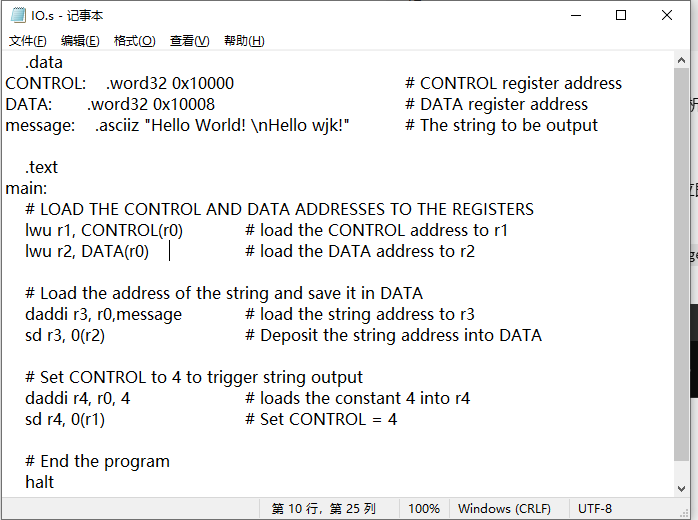


图19 IO程序代码

然后通过asm.exe来检验该程序的语法正确性。

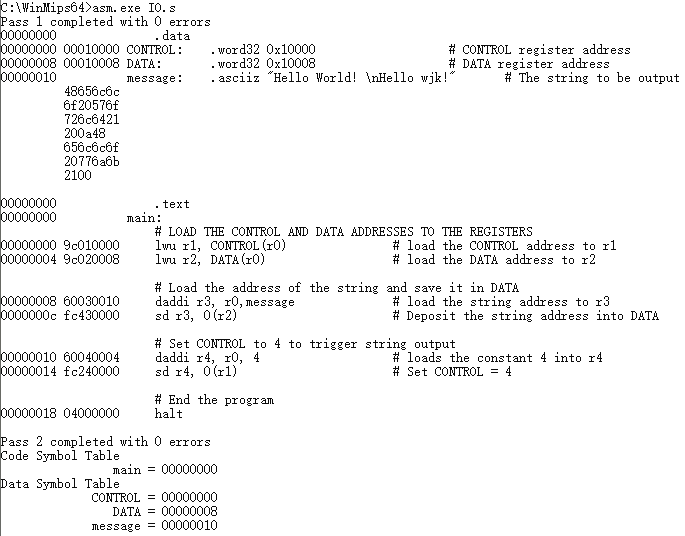


图20 asm.exe检验该程序的语法正确性

然后在WinMIPS64中的File栏中open打开文件。最后一步步按F7，同时观察各个窗口。最终还要截取Terminal窗口，图如下：

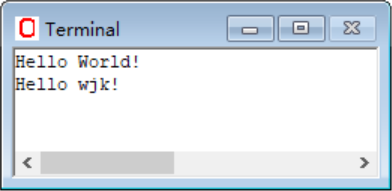


图21 Terminal窗口输出结果

证明我的程序结果输出了“Hello World！\n Hello wjk！”。

（五）、编写排序算法

在这一部分，我们要求编写一个排序算法，对一组int型数据进行排序。该算法使用冒泡排序法，并且在其中嵌入一个swap函数过程（该算法在课本上有完整的程序，但是其中的数据初始化、寄存器映射、命令的映射以及I/O部分还需要自己手动编写）。编写完成后，在asm.exe中进行检测，然后运行。

初始数据要求为：“array: .word 8,6,3,7,1,0,9,4,5,2”

该程序需要对0到10，十个数进行了排序，其中使用了sort和swap两个函数过程，并且swap是嵌套在sort中的，在编写程序的时候一定要注意使用栈来保留寄存器的值，嵌套时还额外需要保存$ra的值。在WinMIPS64运行上述程序，将得到如下结果（这里只给出Terminal窗口的截图即可）：

1. 准备数据

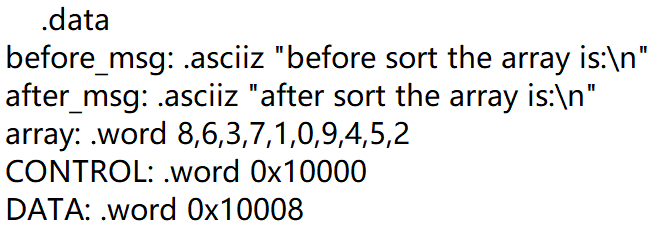


图22 数据域代码

1. 编写主函数main

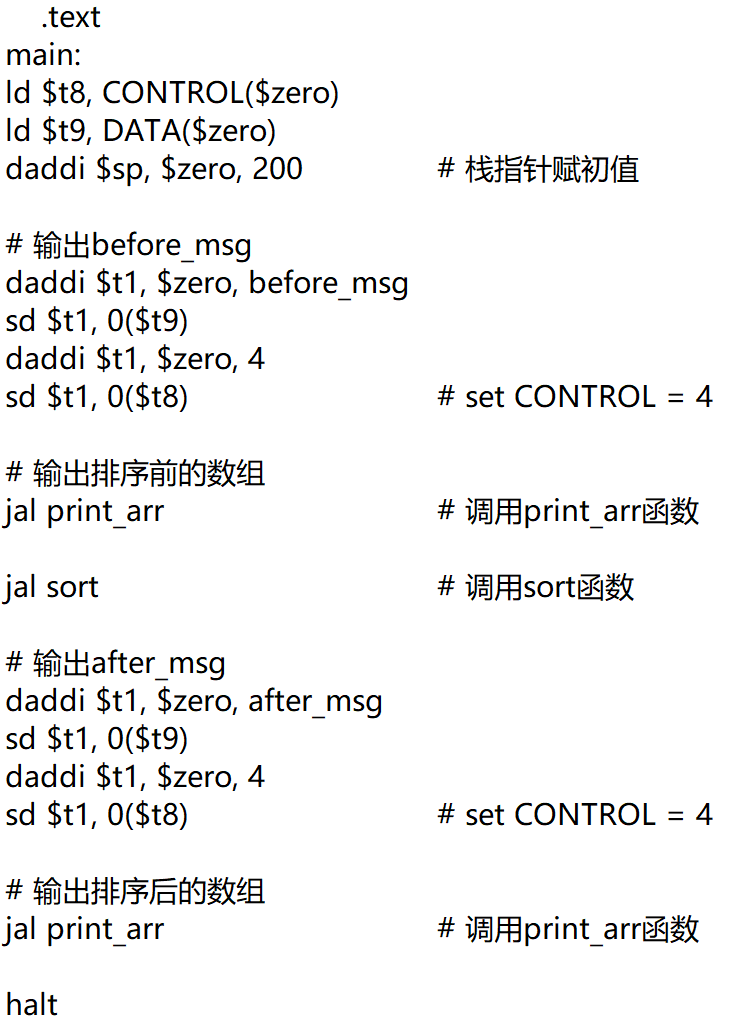


图23 main函数代码

1. 编写打印数组的函数print\_arr

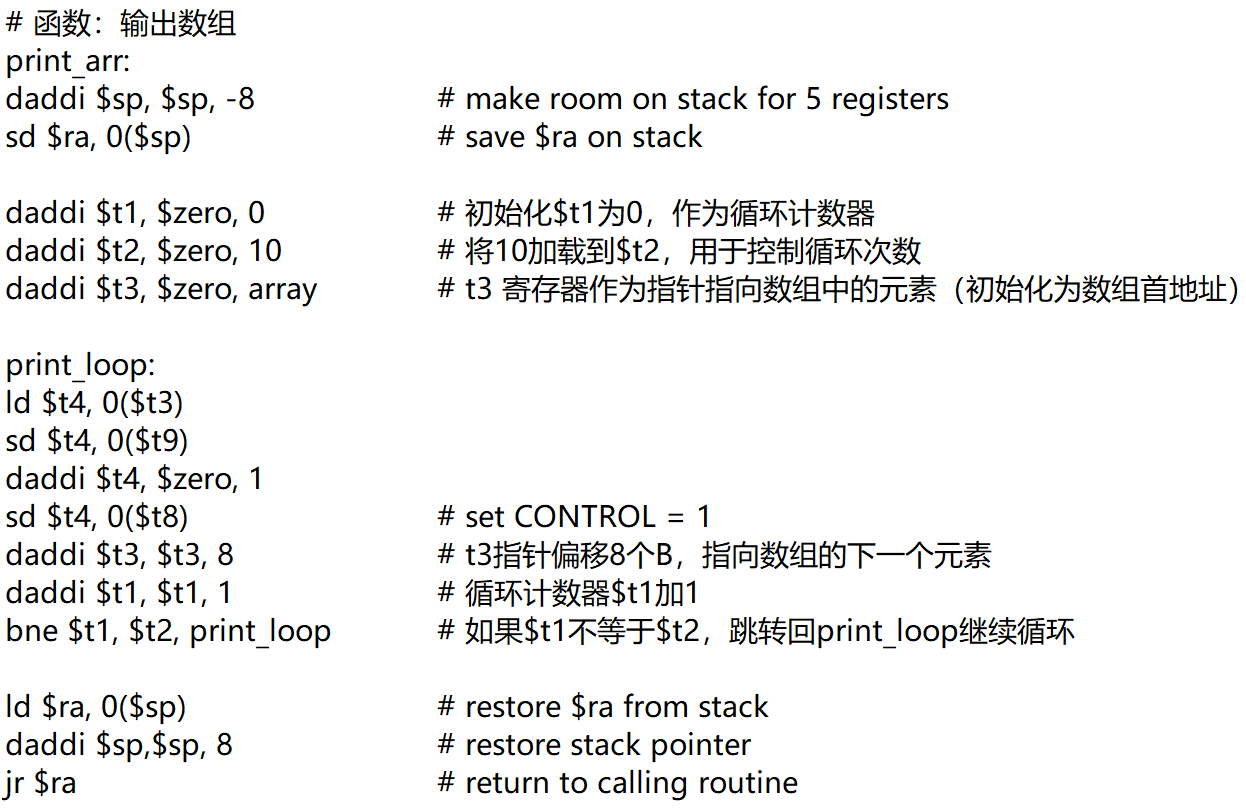


图24 print\_arr函数代码

1. 编写sort函数

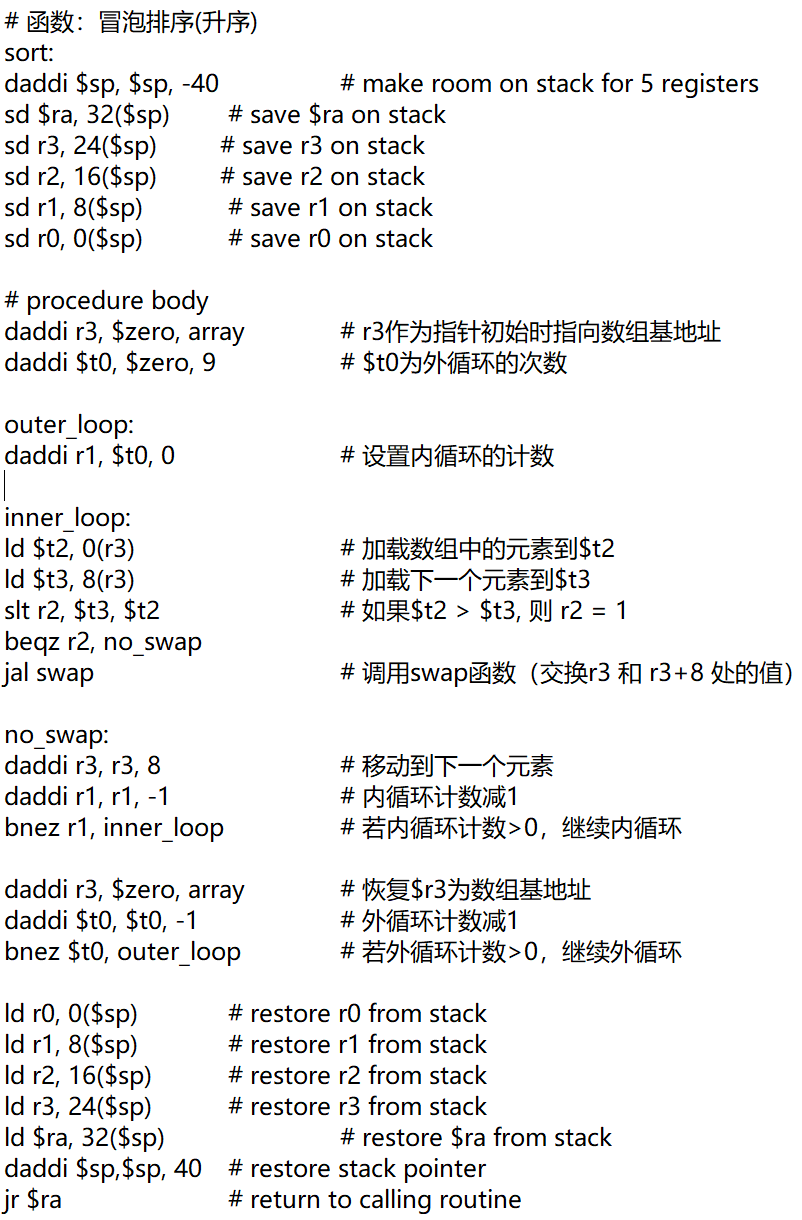


图25 sort函数代码

1. 编写swap函数

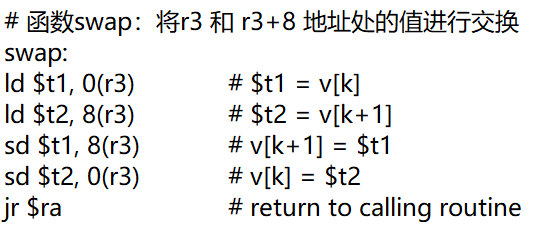


图26 swap函数代码

1. 使用asm.exe检测语法的正确性

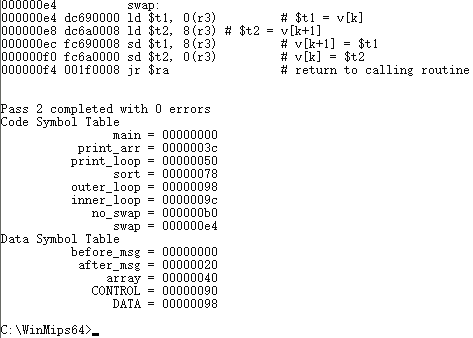


图27 asm.exe检测语法的正确性

1. 在WinMIPS64运行程序

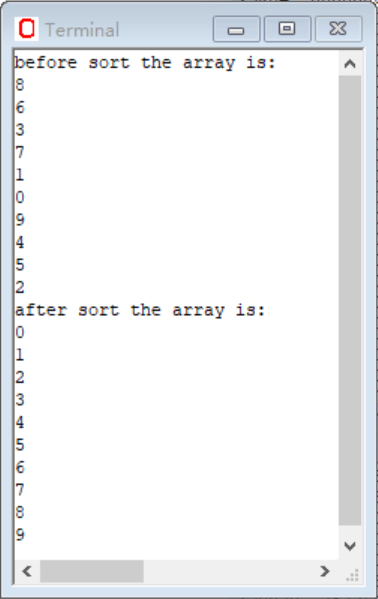


图28 terminal窗口输出结果

观察实验截图， 证明我的程序确实做到了对数组升序排序的效果。

（六）、结束语

本实验通过一个例子介绍了WinMIPS64的重要特性，使你对流水线和MIPS64的操作类型有了一定的了解。当然，你还必须学习更多的知识，才能更深入地了解WinMIPS64。请参阅在winmips.zip压缩文件中的相关资料。

**五、实验结果**

1.下载WinMIPS64，并成功使用asm.exe检验程序语法正确性。

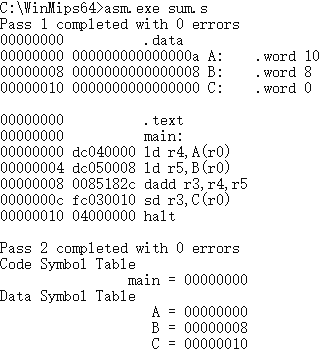


图29 asm.exe检验程序语法正确性

2.正确使用WinMIPS64的IO方法，运行相关程序，结果如下。

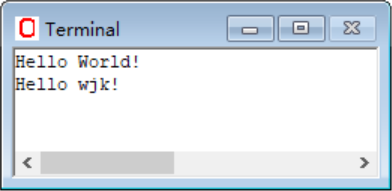


图30 使用WinMIPS64的IO方法输出字符串

3.使用WinMIPS64编写排序程序，运行结果如下。

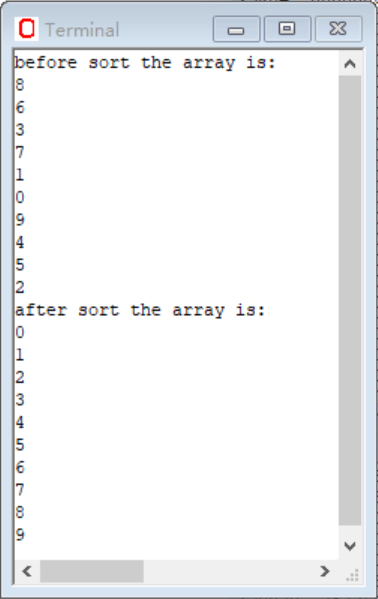


图31 排序程序运行结果

**六、实验总结与体会**

**实验中遇到的bug：**

1. 在完成“3. 模 拟”这一任务时，没有关闭Configure -> Enable Forwarding 选项，导致运行结果与实验预期不符，“dadd r3，r4，r5”指令并未停留在“取指”阶段。
2. 在完成终端IO任务时，错将CONTROL设置为9，而没有设置为4，导致字符串没有正常输出。
3. 在实现排序程序时，发现r0寄存器无法执行daddi指令，于是查询资料，得知r0寄存器是一个特殊的寄存器，它的值永远是 0，无法被更改。

**实验总结：**

1. 通过本次实验，我了解了WinMIPS64的基本功能和作用，对WinMIPS64各个窗口的结构与功能有了一定的了解。
2. 通过运行样例代码，编写相关代码，熟悉了MIPS指令，并掌握了WinMIPS64的基本命令与操作。
3. 本次实验中使用的环境为WinMIPS64，课本中的参考指令为32位指令，编写程序时需要进行一定更正。
4. 在调用函数时，需要初始化栈指针SP，且应根据需要开辟相应的空间，避免因为空间不足而出错。
5. 调用函数时往往需要传递一定参数，需要进行参数准备，要考虑保护现场与寄存器的值恢复，避免出错
6. 利用slt, slti, beq, bne和$zero可以创造比较条件，结合跳转指令可以实现循环结构。

|  |
| --- |
| **指导教师批阅意见：**  **成绩评定：**  指导教师签字： 刘刚    年 月 日 |
| 备注： |