NIS2331《计算机组成与系统结构》

ARM 汇编程序实验作业 1

1. 实验目标

通过 ARMv7 汇编程序实现两个矩阵的乘法操作。

2. 实验环境

KEIL µVision 5.36 或更高版本。具体使用方法见课程课件《ARM 处理器简介与汇编基础》第四节“ARM 汇编程序实验”。

3. 实验方案

3.1 文件说明

实验提供两个代码文件 main.c 和 matrix.s

main.c：为 C 语言程序，程序入口，调用 matrix.s 中的 matrix_mul 函数实现矩阵乘法。

1) 定义两个源矩阵规模及数据，结果矩阵的内存预留；
2) 定义了矩阵结构体 Matrix；

```
typedef struct Matrix {
        int         row;          //Number of rows
        int         column;       //Number of columns
        const int*     data;      //Address of matrix data
}Matrix;
```

这里 data 成员指针指向一个二位数组的地址。

3) 定义了待实现的矩阵乘法函数 matrix_mul；

```
// Matrix multiplication function declare
```

extern int matrix_mul(Matrix *results, const Matrix *source1, const Matrix *source2);

参数及返回值说明：

a) 参数 source1：源矩阵 1 结构体；

b) 参数 source2：源矩阵 2 结构体；

c) 参数 results：结果矩阵结构体；

d) 返回值：0 表示执行成功；1 表示执行失败。

4) 实现了一个打印矩阵的函数 print_matrix，用以打印乘法结果矩阵；

5) main 函数

a) 定义了两个源矩阵结构体 source_matrix1 和 source_matrix2，使用 1)中定义的规模和数据；

b) 定义了结果矩阵结构体 results_matrix，使用 1)中定义的规模和预分配空间；

c) 将结果矩阵数据部分内存空间清 0；

d) 调用 matrix_mul 对两个源矩阵进行乘法操作，结果存放在结果矩阵中。对于成功的调用，将打印结果矩阵；对于失败的调用，显示乘法失败。

matrix.s：实现一个矩阵乘法函数 matrix_mul；

1) 定义了代码区域(AREA)，对外 Export 了 matrix_mul 符号。

2) 提供了函数返回。

矩阵乘法功能待实验开发。

3.2 实验流程

1) 按照“ARM 汇编程序实验”的说明，创建一个 C 语言与汇编混合编程的项目。将实验提供的 main.c 和 matrix.s 加入到项目中。

2) 在 matrix.s 的代码区域实现矩阵乘法函数 matrix_mul；

3) 编译成功后进行调试；

4) 运行到 main 函数的 return 语句时，如果 matrix_mul 实现正确，应能在 Debug (printf) Viewer 窗口中看到正确的结果矩阵输出；

5) 更改 main.c 中的源矩阵规模和数据，测试不同规模的矩阵；

6) 提交 matrix.s。(**不要提交 main.c**)

3.3 实验要点

1) matrix_mul 的输入参数为结构体 Matrix 的指针。Matrix 结构体的大小为 12 字节，成员变量 data 大小为 4 个字节，保存真正的矩阵数据的地址。

   以参数 source1 为例，进入 matrix_mul 汇编代码后：

   a) 寄存器 R1 保存了结构体 source1 的指针；

   b) R1 + 8 的位置是 data 成员变量，保存的是源矩阵 1 的数据 SOURCE_MATRIX1_DATA 所在的地址；

   c) 即通过 R1 访问矩阵元素需要两次内存访问。

3) 输入参数使用了 R0, R1 和 R2 三个寄存器，R11 作为 Frame Pointer 不建议使用，故可以使用的寄存器范围是 R3-R10。如果不够，应考虑使用栈存储局部变量，参考《ARM 处理器简介与汇编基础》75 页起的“本地变量”部分。

4) 可以考虑写一个 C 语言的 matrix_mul 函数，然后对照实现 ARM 汇编的 matrix_mul，会容易一些。

5) 矩阵不一定是方阵，行和列可以不同。

6) 矩阵乘法有可能失败，从而返回 1。比如 source1 的列数不等于 source2 的行数，就无法进行乘法操作。

3.4 参考文献

Canvas 中，“文件”→“ARM Programming”目录下：

ARM® Cortex™-A Series Version 4.0 Programmer's Guide.pdf 中给出了 ARMv7 Cortex-A 的开发人员指引，包含体系结构、寄存器、指令集等内容的说明，可以参考该文献，使用更为丰富的指令集完成本实验。

4. 实验评估

1) 评估环境：

简单来说，我们通过 Docker 运行一个 ubuntu20.04 的环境，为了能在上面跨架构地编译和运行 Arm 架构的程序，我们安装 GCC-ARM 工具链进行交叉编译，安装 qemu-arm-static 来执行 ARM 程序。

2) 文件清单：

a) Dockerfile：用于构建评估所用 docker 环境

b) arm2gas.pl：用于将 ARMASM 汇编语法转换为 GNU 的 GAS 语法

c) main.c：主体 C 文件，包括读取矩阵数据和调用 matrix_mul 函数

d) matrix.s：实验实现的汇编程序（ARMASM 语法）

e) grade.py：评分程序。这里提供了三类 case 供调试

3) 环境准备：

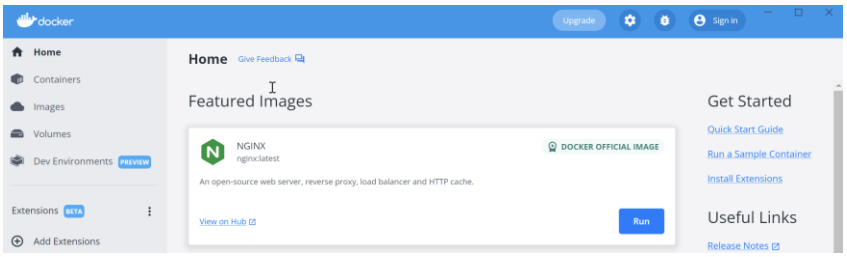
a) 安装 Docker

- Window 下 Docker 的安装

  参考 Docker 官方文档

  i. 在上面给出的链接下载 Docker Desktop for Windows

  ii. 下载完成后运行 Docker Desktop Installer.exe，直接使用默认选项安装，安装完后重启即可使用



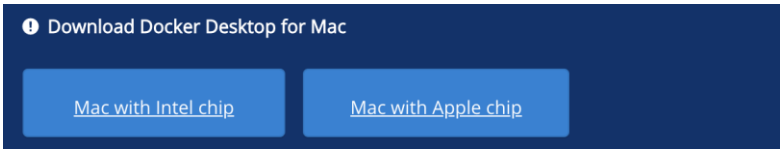
  iii. Docker 命令的使用可以采用 Command Line 或 Powshell 或 WSL2。这里给出 Powershell 的使用截图，表示正确运行：

- Ubuntu 下 Docker 的安装

  参考 Docker 官方文档，文档非常详细，一步步操作即可，这里不进行赘述。

- macOS 下 Docker 的安装

  参考 Docker 官方文档，下载 Docker Desktop for Mac 即可。



b) Docker 容器内的配置

主要是安装了 GCC-ARM 的工具链、qemu 以及 python3.8。

安装使用的命令均写在 Dockerfile，无需在容器内手动输入。

4) 使用方式：

a) 在 Dockerfile 目录下构建 docker：`docker build -t ubuntu:arm .`

```
PS C:\armasm_lab> ls


    Directory: C:\armasm_lab


Mode                 LastWriteTime         Length Name
----                 -------------         ------ ----
d-----          5/6/2022   9:35 PM                .git
-a----          5/5/2022   7:44 PM          14622 arm2gas.pl
-a----          5/5/2022   7:44 PM            457 Dockerfile
-a----          5/5/2022   7:44 PM           3470 grade.py
-a----          5/5/2022   7:44 PM           2110 main.c
-a----          5/5/2022   7:44 PM            208 Makefile
-a----          5/5/2022   7:44 PM           4204 matrix.s
-a----          5/5/2022   8:12 PM           2140 README.md


PS C:\armasm_lab> docker build -t ubuntu:arm .
[+] Building 101.0s (10/10) FINISHED
```

使用`docker images`命令能够看到我们刚刚构建的映像：

```
PS C:\armasm_lab> docker images
REPOSITORY   TAG       IMAGE ID       CREATED         SIZE
ubuntu       arm       733287173333   2 minutes ago   926MB
```

b) 运行容器：`docker run -it ubuntu:arm /bin/bash`

c) 编译程序：`make`

d) 测试：`python3 grade.py`

运行后会生成三组测试用例 case_1.txt、case_2.txt、case_3.txt，这三组测试用例仅供参考，评分时会采用其他测试用例。测试用例规范如下：

i. 第一行两个数字分别表示矩阵 1 的行数（r1）和列数（c1）；

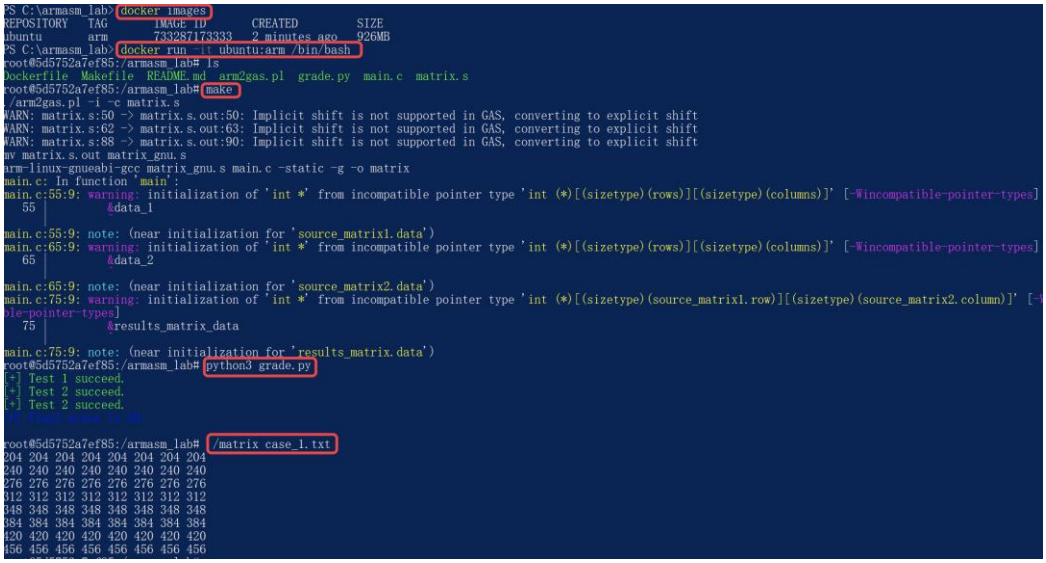
ii. 接下来跟着的 r1 行数据（每行 c1 个数字）是矩阵 1 的元素；

iii. 下一行的两个数字分别表示矩阵 1 的行数（r2）和列数（c2）；

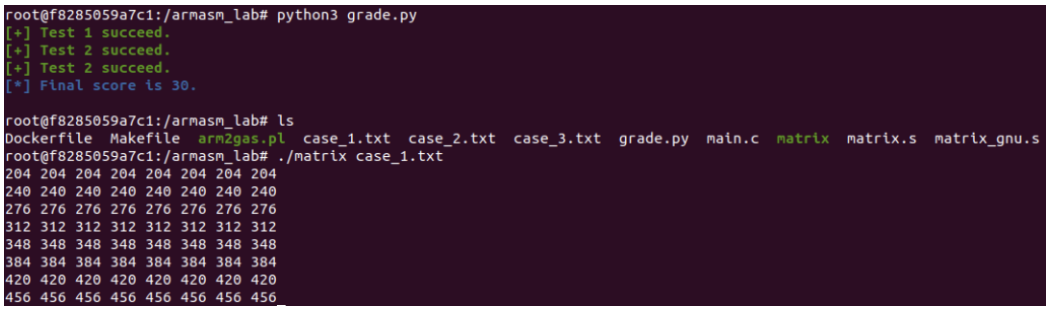
iv. 紧跟着的 r2 行数据（每行 c2 个数字）是矩阵 2 的元素；

windows 示例如下：

在 docker 中运行 make，成功后可以得到 matrix 文件，若实现正确，在运行 grade.py 后顺利通过测试用例。也可以单独运行 matrix 可执行文件，命令行传入输入矩阵的文件，可以得到计算结果的输出。



同样地，在 ubuntu 上也是一样，在此不重复展示 docker 命令的使用：



5) 评分标准：

a) 程序正确性（70%）：能够顺利通过编译并通过测试用例。测试环境提供的三组测试用仅供参考，实际评估时会采用其他的测试用例。

b) 程序可读性（30%）：规范编写，并能适当注释提高可读性，程序简洁。