北 京 邮 电 大 学
计 算 机 系 统 结 构 实 验 报 告

实验名称：	使用 MIPS 指令实现求两个数组的点积
班　　级：	2016211301
学　　号：	2016211134
姓　　名：	李智盛
指导教师：	邝坚
实验日期：	2019 年 5 月 22 日

0. 目录

1. 实验目的

1. 通过实验熟悉实验 1 和实验 2 的内容
2. 增强汇编语言编程能力
3. 学会使用模拟器中的定向功能进行优化
4. 了解对代码进行优化的方法

2. 实验平台

指令级和流水线操作级模拟器 MIPSsim

3. 实验内容和步骤

（1） 自行编写一个计算两个向量点积的汇编程序，

（注意：不要使用浮点指令及浮点寄存器!! 使用 TEQ $r0 $r0 结束程序!!）

$$\mathbf{a}\cdot\mathbf{b}=\sum_{i=1}^{n}a_ib_i=a_1b_1+a_2b_2+\cdots+a_nb_n$$

该程序要求可以实现求两个向量点 积计算后的结果。 向量的点积：假设有两个 n 维向量 a、b，则 a 与 b 的点积为：

两个向量元素使用数组进行数据存储，要求向量的维度不得小于 10

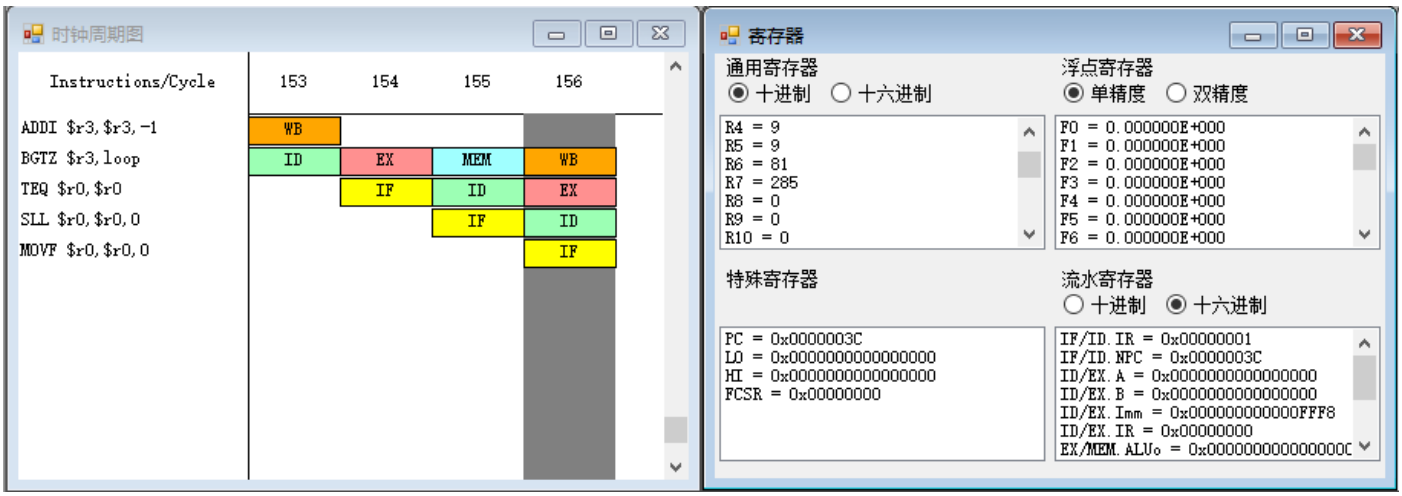
这里在程序中自定义的向量数组如下：

```
# 数据段
.data
array1: .word 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9
array2: .word 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9
```

（2） 启动 MIPSsim。

（3） 载入自己编写的程序，观察流水线输出结果。

运行结果如下：R7（向量点积结果）=285



执行结果的统计窗口：

```
汇总：
  执行周期总数：157
  ID段执行了86条指令

硬件配置：
  内存容量：4096 B
  加法器个数：1                执行时间（周期数）：6
  乘法器个数：1                执行时间（周期数）7
  除法器个数：1                执行时间（周期数）10
  定向机制：不采用

停顿（周期数）：
  RAW停顿：60          占周期总数的百分比：38.21656%
  其中：
    load停顿：20              占所有RAW停顿的百分比：33.33333%
    浮点停顿：0               占所有RAW停顿的百分比：0%
  WAW停顿：0           占周期总数的百分比：0%
  结构停顿：0          占周期总数的百分比：0%
  控制停顿：10                 占周期总数的百分比：6.369427%
  自陷停顿：0          占周期总数的百分比：0%
  停顿周期总数：70     占周期总数的百分比：44.58599%

分支指令：
  指令条数：10                 占指令总数的百分比：11.62791%
  其中：
    分支成功：9                占分支指令数的百分比：90%
    分支失败：1                占分支指令数的百分比：10%

load/store指令：
  指令条数：20                 占指令总数的百分比：23.25581%
  其中：
    load：20           占load/store指令数的百分比：100%
    store：0           占load/store指令数的百分比：0%
```

（4）　使用定向功能再次执行代码，与刚才执行结果进行比较，观察执行效率的不同。

左边为未使用定向功能的上一次执行结果；　右边为使用了定向功能后的执行结果

```
汇总:
  执行周期总数: 157
  ID段执行了86条指令

硬件配置:
  内存容量: 4096 B
  加法器个数: 1                执行时间（周期数）: 6
  乘法器个数: 1                执行时间（周期数）7
  除法器个数: 1                执行时间（周期数）10
  定向机制: 不采用

停顿（周期数）:
  RAW停顿: 60          占周期总数的百分比: 38.21656%
  其中:
    load停顿: 20               占所有RAW停顿的百分比: 33.33333%
    浮点停顿: 0                占所有RAW停顿的百分比: 0%
  WAW停顿: 0           占周期总数的百分比: 0%
  结构停顿: 0          占周期总数的百分比: 0%
  控制停顿: 10               占周期总数的百分比: 6.369427%
  自陷停顿: 0          占周期总数的百分比: 0%
  停顿周期总数: 70     占周期总数的百分比: 44.58599%

分支指令:
  指令条数: 10               占指令总数的百分比: 11.62791%
  其中:
    分支成功: 9              占分支指令数的百分比: 90%
    分支失败: 1              占分支指令数的百分比: 10%

load/store指令:
  指令条数: 20               占指令总数的百分比: 23.25581%
  其中:
    load: 20           占load/store指令数的百分比: 100%
    store: 0           占load/store指令数的百分比: 0%
```

```
汇总:
  执行周期总数: 117
  ID段执行了86条指令

硬件配置:
  内存容量: 4096 B
  加法器个数: 1                执行时间（周期数）: 6
  乘法器个数: 1                执行时间（周期数）7
  除法器个数: 1                执行时间（周期数）10
  定向机制: 采用

停顿（周期数）:
  RAW停顿: 20          占周期总数的百分比: 17.09402%
  其中:
    load停顿: 10               占所有RAW停顿的百分比: 50%
    浮点停顿: 0                占所有RAW停顿的百分比: 0%
  WAW停顿: 0           占周期总数的百分比: 0%
  结构停顿: 0          占周期总数的百分比: 0%
  控制停顿: 10               占周期总数的百分比: 8.547009%
  自陷停顿: 0          占周期总数的百分比: 0%
  停顿周期总数: 30     占周期总数的百分比: 25.64103%

分支指令:
  指令条数: 10               占指令总数的百分比: 11.62791%
  其中:
    分支成功: 9              占分支指令数的百分比: 90%
    分支失败: 1              占分支指令数的百分比: 10%

load/store指令:
  指令条数: 20               占指令总数的百分比: 23.25581%
  其中:
    load: 20           占load/store指令数的百分比: 100%
    store: 0           占load/store指令数的百分比: 0%
```

总的执行效率提高了 134%

RAW 的停顿周期数从 60 减少至 20

（5）　采用静态调度方法重排指令序列，减少相关，优化程序

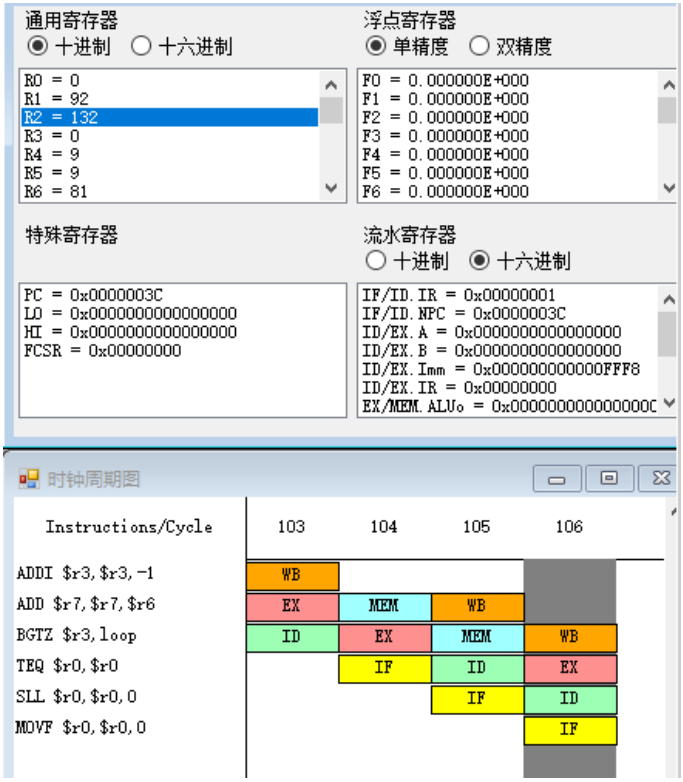
重排后的代码:

```
# 采用静态调度优化程序
# 重新组织代码顺序
# 代码段
.text

main:   # 程序入口 main
ADDIU $r1,$r0,array1  # array1 的地址
ADDIU $r2,$r0,array2  # array2 的地址
ADDIU $r3,$r0,10  # 变量控制循环出口
ADDIU $r7,$r0,0   # 初始化 r7
loop:
LW $r4,0($r1)
LW $r5,0($r2)
ADDI $r1,$r1,4    # 继续读取数组 array1
```

```
ADDI $r2,$r2,4    # 继续读取数组 array2
MUL $r6,$r4,$r5   # 优化:组织顺序
ADDI $r3,$r3,-1   # r3 控制程序出口
ADD $r7,$r7,$r6   # 优化：组织顺序
BGTZ $r3,loop     # if r3>0：loop
TEQ $r0,$r0

# 数据段
.data
array1: .word 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9
array2: .word 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9
```

采用静态调度优化后的执行结果：

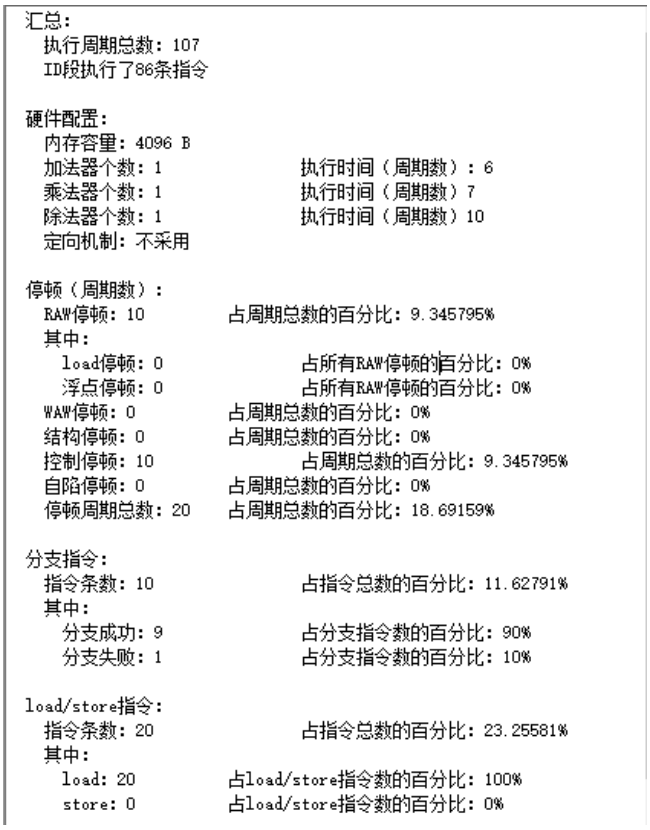
```
汇总：
  执行周期总数：107
  ID段执行了86条指令

硬件配置：
  内存容量：4096 B
  加法器个数：1                执行时间（周期数）：6
  乘法器个数：1                执行时间（周期数）7
  除法器个数：1                执行时间（周期数）10
  定向机制：不采用

停顿（周期数）：
  RAW停顿：10          占周期总数的百分比：9.345795%
  其中：
    load停顿：0                占所有RAW停顿的百分比：0%
    浮点停顿：0                占所有RAW停顿的百分比：0%
  WAW停顿：0           占周期总数的百分比：0%
  结构停顿：0          占周期总数的百分比：0%
  控制停顿：10                 占周期总数的百分比：9.345795%
  自陷停顿：0          占周期总数的百分比：0%
  停顿周期总数：20     占周期总数的百分比：18.69159%

分支指令：
  指令条数：10                 占指令总数的百分比：11.62791%
  其中：
    分支成功：9                占分支指令数的百分比：90%
    分支失败：1                占分支指令数的百分比：10%

load/store指令：
  指令条数：20                 占指令总数的百分比：23.25581%
  其中：
    load：20           占load/store指令数的百分比：100%
    store：0           占load/store指令数的百分比：0%
```



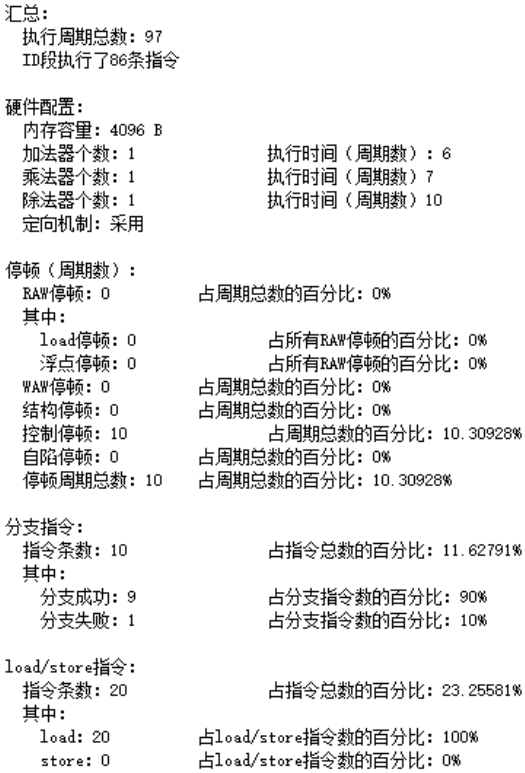
相比优化前（执行周期总数为 157），效率有了相当大的提升

（6）　对优化后的程序使用定向功能执行，与刚才执行结果进行比较，观察执行效率的不同。

左边为优化后未使用定向功能的执行结果；右边为优化后使用定向功能的执行结果



```
汇总:
  执行周期总数: 107
  ID段执行了86条指令

硬件配置:
  内存容量: 4096 B
  加法器个数: 1                执行时间（周期数）: 6
  乘法器个数: 1                执行时间（周期数）7
  除法器个数: 1                执行时间（周期数）10
  定向机制: 不采用

停顿（周期数）:
  RAW停顿: 10          占周期总数的百分比: 9.345795%
  其中:
    load停顿: 0                占所有RAW停顿的百分比: 0%
    浮点停顿: 0                占所有RAW停顿的百分比: 0%
  WAW停顿: 0           占周期总数的百分比: 0%
  结构停顿: 0          占周期总数的百分比: 0%
  控制停顿: 10                 占周期总数的百分比: 9.345795%
  自陷停顿: 0          占周期总数的百分比: 0%
  停顿周期总数: 20     占周期总数的百分比: 18.69159%

分支指令:
  指令条数: 10                 占指令总数的百分比: 11.62791%
  其中:
    分支成功: 9                占分支指令数的百分比: 90%
    分支失败: 1                占分支指令数的百分比: 10%

load/store指令:
  指令条数: 20                 占指令总数的百分比: 23.25581%
  其中:
    load: 20           占load/store指令数的百分比: 100%
    store: 0           占load/store指令数的百分比: 0%
```



```
汇总:
  执行周期总数: 97
  ID段执行了86条指令

硬件配置:
  内存容量: 4096 B
  加法器个数: 1                执行时间（周期数）: 6
  乘法器个数: 1                执行时间（周期数）7
  除法器个数: 1                执行时间（周期数）10
  定向机制: 采用

停顿（周期数）:
  RAW停顿: 0           占周期总数的百分比: 0%
  其中:
    load停顿: 0                占所有RAW停顿的百分比: 0%
    浮点停顿: 0                占所有RAW停顿的百分比: 0%
  WAW停顿: 0           占周期总数的百分比: 0%
  结构停顿: 0          占周期总数的百分比: 0%
  控制停顿: 10                 占周期总数的百分比: 10.30928%
  自陷停顿: 0          占周期总数的百分比: 0%
  停顿周期总数: 10     占周期总数的百分比: 10.30928%

分支指令:
  指令条数: 10                 占指令总数的百分比: 11.62791%
  其中:
    分支成功: 9                占分支指令数的百分比: 90%
    分支失败: 1                占分支指令数的百分比: 10%

load/store指令:
  指令条数: 20                 占指令总数的百分比: 23.25581%
  其中:
    load: 20           占load/store指令数的百分比: 100%
    store: 0           占load/store指令数的百分比: 0%
```

相比之下，采用定向功能后，执行效率提高了 110.3%

RAW 停顿次数减少了 10 次

4. 向量点积程序代码清单及注释说明

```
# 代码段
.text
# 程序入口 main
main:
ADDIU $r1,$r0,array1  # array1 的地址
ADDIU $r2,$r0,array2  # array2 的地址
ADDIU $r3,$r0,10  # 变量控制循环出口
ADDIU $r7,$r0,0   # 初始化 r7
loop:
LW $r4,0($r1)
LW $r5,0($r2)
MUL $r6,$r4,$r5
ADD $r7,$r7,$r6   # r7 存放点积结果
ADDI $r1,$r1,4    # 继续读取数组
ADDI $r2,$r2,4
```

```
ADDI $r3,$r3,-1   # r3 控制程序出口
BGTZ $r3,loop     # if r3>0: loop
TEQ $r0,$r0

# 数据段
.data
array1: .word 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9
array2: .word 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9
```

5. 优化后的程序代码清单

```
# 采用静态调度优化程序
# 重新组织代码顺序
# 代码段
.text

main:   # 程序入口 main
ADDIU $r1,$r0,array1  # array1 的地址
ADDIU $r2,$r0,array2  # array2 的地址
ADDIU $r3,$r0,10  # 变量控制循环出口
ADDIU $r7,$r0,0   # 初始化 r7
loop:
LW $r4,0($r1)
LW $r5,0($r2)
ADDI $r1,$r1,4    # 继续读取数组 array1
ADDI $r2,$r2,4    # 继续读取数组 array2
MUL $r6,$r4,$r5   # 优化:组织顺序
ADDI $r3,$r3,-1   # r3 控制程序出口
ADD $r7,$r7,$r6   # 优化:组织顺序
BGTZ $r3,loop     # if r3>0: loop
TEQ $r0,$r0

# 数据段
.data
array1: .word 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9
array2: .word 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9
```

6. 未优化代码和优化代码性能分析比较结果

文字加截图说明，并给出优化的原因

未优化代码：

```
# 代码段
.text

main:   # 程序入口 main
ADDIU $r1,$r0,array1  # array1的地址
ADDIU $r2,$r0,array2  # array2的地址
ADDIU $r3,$r0,10  # 变量控制循环出口
ADDIU $r7,$r0,0   # 初始化r7
loop:
LW $r4,0($r1)
LW $r5,0($r2)
MUL $r6,$r4,$r5
ADD $r7,$r7,$r6   # r7存放点积结果
ADDI $r1,$r1,4    # 继续读取数组
ADDI $r2,$r2,4
ADDI $r3,$r3,-1   # r3 控制程序出口
BGTZ $r3,loop     # if r3>0: loop
TEQ $r0,$r0

# 数据段
.data
array1: .word 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9
array2: .word 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9
```

优化后：

```
# 采用静态调度优化程序
# 重新组织代码顺序
# 代码段
.text

main:   # 程序入口 main
ADDIU $r1,$r0,array1  # array1的地址
ADDIU $r2,$r0,array2  # array2的地址
ADDIU $r3,$r0,10  # 变量控制循环出口
ADDIU $r7,$r0,0   # 初始化r7
loop:
LW $r4,0($r1)
LW $r5,0($r2)
ADDI $r1,$r1,4    # 继续读取数组array1
ADDI $r2,$r2,4    # 继续读取数组array2
MUL $r6,$r4,$r5   # 优化:组织顺序
ADDI $r3,$r3,-1   # r3 控制程序出口
ADD $r7,$r7,$r6   # 优化：r7存放点积结果
BGTZ $r3,loop     # if r3>0: loop
TEQ $r0,$r0

# 数据段
.data
array1: .word 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9
array2: .word 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9
```

执行结果比较：

```
汇总:
  执行周期总数: 157
  ID段执行了86条指令

硬件配置:
  内存容量: 4096 B
  加法器个数: 1               执行时间（周期数）: 6
  乘法器个数: 1               执行时间（周期数）7
  除法器个数: 1               执行时间（周期数）10
  定向机制: 不采用

停顿（周期数）:
  RAW停顿: 60          占周期总数的百分比: 38.21656%
  其中:
    load停顿: 20              占所有RAW停顿的百分比: 33.33333%
    浮点停顿: 0               占所有RAW停顿的百分比: 0%
  WAW停顿: 0           占周期总数的百分比: 0%
  结构停顿: 0          占周期总数的百分比: 0%
  控制停顿: 10                占周期总数的百分比: 6.369427%
  自陷停顿: 0          占周期总数的百分比: 0%
  停顿周期总数: 70     占周期总数的百分比: 44.58599%

分支指令:
  指令条数: 10                占指令总数的百分比: 11.62791%
  其中:
    分支成功: 9               占分支指令数的百分比: 90%
    分支失败: 1               占分支指令数的百分比: 10%

load/store指令:
  指令条数: 20                占指令总数的百分比: 23.25581%
  其中:
    load: 20          占load/store指令数的百分比: 100%
    store: 0          占load/store指令数的百分比: 0%
```

```
汇总:
  执行周期总数: 107
  ID段执行了86条指令

硬件配置:
  内存容量: 4096 B
  加法器个数: 1               执行时间（周期数）: 6
  乘法器个数: 1               执行时间（周期数）7
  除法器个数: 1               执行时间（周期数）10
  定向机制: 不采用

停顿（周期数）:
  RAW停顿: 10          占周期总数的百分比: 9.345795%
  其中:
    load停顿: 0               占所有RAW停顿的百分比: 0%
    浮点停顿: 0               占所有RAW停顿的百分比: 0%
  WAW停顿: 0           占周期总数的百分比: 0%
  结构停顿: 0          占周期总数的百分比: 0%
  控制停顿: 10                占周期总数的百分比: 9.345795%
  自陷停顿: 0          占周期总数的百分比: 0%
  停顿周期总数: 20     占周期总数的百分比: 18.69159%

分支指令:
  指令条数: 10                占指令总数的百分比: 11.62791%
  其中:
    分支成功: 9               占分支指令数的百分比: 90%
    分支失败: 1               占分支指令数的百分比: 10%

load/store指令:
  指令条数: 20                占指令总数的百分比: 23.25581%
  其中:
    load: 20          占load/store指令数的百分比: 100%
    store: 0          占load/store指令数的百分比: 0%
```

优化前：执行周期总数 157，RAW 停顿次数 60

优化后：执行周期总数 107，RAW 停顿次数 10

采用静态调度的方法减少了数据相关所造成的 RAW 停顿；

因为分支指令并未进行优化，控制冲突造成的控制停顿次数没有发生变化。