MIPS 基础

本文介绍 MIPS 架构的相关知识。首先讨论一些基础背景知识，然后介绍指令。

存储设计

MIPS 采用的是按字节编址，按字访问的方式。使用的字长为 32 位，访问时以字为单位存/取。字有**对齐限制（Alignment Restriction）**，所有字的首地址必须为 4 的倍数。访问字时访问的是字的首地址，即字所包含的地址中最小的那个。

MIPS 采用的是大端模式。不过这个貌似不是很重要。

MIPS 有一片栈空间专门用来保存函数调用时调用者（Caller）的相关信息。

设计原则

记住一些设计原则有利于指令的记忆和理解。

1. 简单即规整（Simplicity favors regularity）。即指令比较简单，同时同一类型的指令格式统一。
2. 少就是快（Smaller is faster）。即要平衡一些设计，加的东西太多未必好。
3. 加快经常性事件（Make the common case fast）。例如寄存器溢出，以及使用零寄存器等。
4. 良好的设计就是合理的折衷（Good design demands good compromises）。例如 I 型指令，牺牲了立即数的取值范围，保证了指令长度的统一。

汇编基础规则

1. 一行一条指令。
2. 可以有注释，用 # 表示注释的开始，但是注释只能放在一行的最后面。
3. 寄存器名字前加一个 $ 符号。

操作数

可以是通用寄存器，也可以是常数（一般会被称为立即数）。

通用寄存器

寄存器（Register） 是位于 CPU 内，距离运算器最近、具有最快访问速度的存储器。

> 似乎直接来自内存也是可以的，但是 RISC 下为了维护简单性没有这么做。x86 允许操作数直接来源于内存。

通用寄存器总共有 32 个，每一个都具有一定的功能。下面列举一下。

> 为什么说是通用寄存器？因为它们是对程序员可见的。还有一些寄存器并不对程序员可见，如 PC。在谈论操作数的时候，一般说的寄存器就是指通用寄存器。

- 零寄存器，记作 zero。特点是始终是 0，即使对其进行写入操作也保持是 0，原因在于其是**硬接线的（Hard-wired）**。也就是硬件层面上保证了其恒定为 0。
- at。其由汇编器控制，用于处理较大的常数。
- v0 和 v1。用于存储子程序返回值的寄存器。
- a0 到 a3。用于存储子程序要用到的参数。可以直接保存参数本身，或者保存参数在内存中的地址。

- t0 到 t9。没什么特定功能的寄存器。
- s0 到 s7。没什么特定功能的寄存器，但是会在子程序调用时被保存在栈中。
- k0 和 k1。操作系统专用。
- gp。用于编译器优化。
- sp。用作栈结构的栈顶指针。
- fp。（不知道干啥用的）
- ra。用于保存子程序执行完之后应当让 PC 返回到的地址。

> 既然寄存器这么快，为什么不多整几个？只保留 32 个？
>
> 原因有几个方面。一是大量的寄存器可能导致电信号的行进距离增长，导致时钟周期变长、时钟频率降低。二是因为增加寄存器可能导致功耗上升。三是因为受到指令格式的限制，如果寄存器变多就需要在指令中给寄存器编号分配更多的位数，这在 RISC 指令定长的限制下是相当难办的事情。
>
> 而在事实层面，寄存器的数目增长也是非常缓慢的。因为寄存器的数目和指令集架构有关，指令集架构的发展存在惰性，因而寄存器数目的增长和指令集架构的发展近乎一样缓慢。
>
> 总之，平衡好程序员的工作难度和硬件的运行速度很重要。

立即数

立即数也就是常数，可以看作是被硬编码在了指令中的操作数。

使用立即数的好处在于其可以简化很多指令的设计。例如 move 指令就是一条其中一个操作数是 0 的加法指令。

立即数虽然好用，但经常受到定长指令的限制，导致其的取值范围往往达不到 32 位。

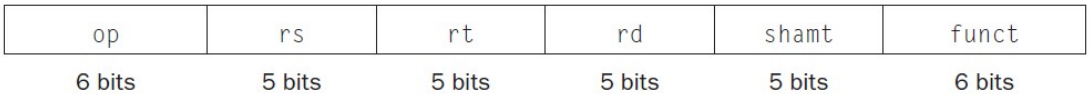
指令种类

由于 MIPS 属于 RISC 架构，因此其的指令长度全部固定为 32 位。

MIPS 指令大致可以分成三大类：R 型指令、I 型指令和 J 型指令。

R 型指令

R 型指令和寄存器相关（取 Register 头字母）。其具有以下构成：



- op 表示**操作码（Opcode）**，用于识别指令种类。R 型指令的 op 是全 0。I 型、J 型也是开头 6 位用作操作码。
- rs，rt 表示两个操作数。s 指 source，t 指 temporary。
- rd 表示目的操作数，即运算结果的保存位置。

> 上面三个可以记忆为 std。需要注意的是，汇编代码中的寄存器顺序和这里的寄存器顺序并不一致。例如 `add $1, $2, $3` 表示的是 `$1 = $2 + $3`。

- shamt 表示偏移量（Shift Amount）。
- funct 表示指令功能。只有 R 型指令有这个位域，因为其操作码是全 0，只能靠 funct 指定功能。

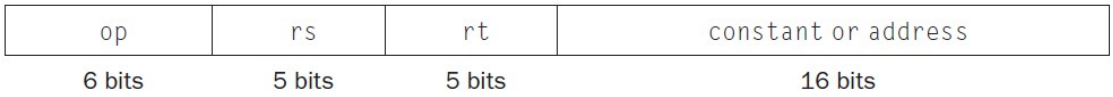
R 型指令大部分都和算术运算相关，如 `add`、`sub` 等等。最特殊的一个是 `jr`，即跳转到某个寄存器保存的地址上。按照模式可以细分成下面几类：

- rs，rt 和 rd 都用上的类型，如 `add`、`sub`。

- 只用了 rt 和 rd，以及移位量，如 `sll`，`srl`。
- 只用了 rs，如 `jr`。

I 型指令

I 型指令和立即数相关（取 Immediate 头字母）。其具有以下构成：



- op 还是操作码，不是全 0，表示指令功能。
- rs、立即数是两个操作数，rt 是目标操作数。
- 后 16 位表示一个常数，这个常数对于不同的指令而言有着不同的意义。

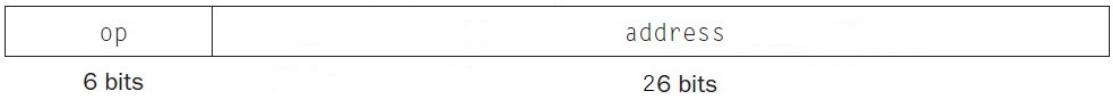
I 型指令的构成就比较丰富。既有算术指令的扩展版本（即一个运算数变成常数），也有存储器的读写指令（即 `lw`、`sw`），还有分支执行指令（即 `beq`、`bne`）。它们的功能差异较大。

按照模式可以分成下面几类：

- 用了 rs 和 rt 的。
  - 写回寄存器堆的都写入 rt 中。如 `addi`，`andi`，`lw`。
  - rt 作为写入数据来源的。如 `sw`。
- 只用了 rt 的，如 `lui`。其将立即数移到高位后写入 rt。

J 型指令

J 型指令和跳转相关（取 Jump 头字母）。其具有以下构成：



- op 还是操作码，不是全 0，表示指令功能。
- address 表示跳转位置。由于其只有 26 位，因此真实的跳转位置为 PC + 4 的高 4 位，再连上 address 左移两位后的结果。

J 型指令只包含两条指令：`j` 和 `jal`。`j` 是无条件跳转，方便构造出死循环，在波形仿真中经常使用；而 `jal` 表示跳转并链接，将 PC + 4 先保存在 31 号寄存器上（即 ra 寄存器）再进行跳转。它一般用在子程序调用中。

总结

了解 MIPS 指令的构成对于后续扩展 MIPS 指令十分有帮助。