Datawhale

Datawhale 开源社区

Datawhale open source community

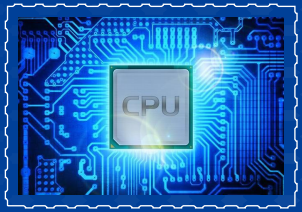
深入理解计算机系统（10）

Computer Systems A Programmer's Perspective CSAPP

李岳昆、易远哲

realyurk@gmail.com、yuanzhe.yi@outlook.com

2021 年 12 月 18 日



第 I 部分

处理器体系结构-II

取址阶段的硬件设计

Datawhale

在取址阶段中，取址操作以程序计数器（PC）的值为起始地址。由于 Y86-64 指令集中最长的指令占 10 字节，为了保证每次取址操作至少能够获得一条完整的指令，取址操作每次从指令内存中读取 10 各字节。

接下来将这 10 字节分为两部分，第一部分占 1 字节，第二部分占 9 字节。例如编码为 30 f8 08 00 00 00 00 00 00 00 的指令，将被分成 30 和 f80800000000000000。

随后名为 Split 的硬件单元处理第一部分。它将这个字节又分成两部分，每部分占 4 个比特位，使这个字节分为两个字段，分别为指令代码和指令功能，用 icode 和 ifun 表示。

根据 icode 可以确定当前指令的状态信息，例如指令的合法性。如果 icode 在 0x0 到 0xB 之间，那么它就是一条合法指令。此外，通过 icode 还可以判断当前指令是否包含寄存器指示符字节和常数字节。

取址阶段的硬件设计

Datawhale

通过前面说的判断结果，就可以计算出当前指令的长度。例如一个指令既含寄存器指示符字节，又含常数字节，那它的长度就是 10 字节；如果既不含寄存器指示符字节，又不含常数字节，那它的长度就是 1 字节。

与此同时，还可以通过将 PC 值加上当前的指令长度来计算内存中下一条指令的地址，用于后续的更新阶段。

取址阶段的硬件设计

Datawhale

在前面我们处理了一条指令中的头一个字节，对于剩下的 9 个字节，我们通过名为 Align 的硬件单元来产生寄存器字段和常数字段。该硬件单元通过信号 need_regids 来判断该指令是否包含寄存器指示符字节。若 need_regids $= 1$，说明该指令包含寄存器指示符字节，那么第一个字节将被分成两部分，每部分占 4 个比特位，然后分别装入寄存器指示符 rA 和 rB 中；若 need_regids $= 0$，说明该指令不包含寄存器指示符字节，此时将 rA、rB 这两个字段设置为 0xF。

此外，若该指令含有常数，Align 单元还将产生常数字段 valC。当 need_regids $= 1$ 时，valC 被设为指令的第 $2 \sim 9$ 字节；当 need_regids $= 0$ 时，valC 被设为指令的第 $1 \sim 8$ 字节。

译码阶段的硬件设计

Datawhale

译码阶段的操作是从寄存器文件中读取数据，在 Y86-64 处理器中寄存器文件有两个读端口，它支持同时进行两个读操作，两个读端口的地址输入为 srcA 和 srcB，从寄存器文件中读出的数值通过 valA 和 valB 输出。

读端口的 srcA 和 srcB 用于产生寄存器的 ID，这需要寄存器指示符 rA 及 rB。

由于某些指令，例如 push 指令，该指令的寄存器指示符中只含有目的寄存器的 ID，但执行压栈操作时，还需要获得栈顶指针 rsp 的值。因此 srcA 和 srcB 不仅需要传入 rA 和 rB，还需要传入指令代码 icode。

执行阶段的硬件设计

执行阶段的核心部件 ALU 根据指令功能 ifun 来判断要对输入的操作数进行何种运算。每次运行时，ALU 都会产生三个与条件码相关的信号——零、符号、溢出。

我们只希望 ALU 在执行算术逻辑指令时才设置条件码，而计算内存引用地址以及栈操作时不要设置条件码。因此我们使用 Set_CC 信号根据指令代码 icode 来控制是否需要设置条件码。

此外，我们使用名为 Cond 的硬件单元来控制跳转操作。Cond 会根据指令功能和条件码寄存器来产生 Cnd 信号。对于跳转指令，如果 Cnd = 1，就执行跳转；如果 Cnd = 0，则不执行跳转。

访存阶段的硬件设计

Datawhale

该阶段的硬件设计主要包含以下四个控制块：

1. 读控制块，用于进行读操作。
2. 写控制块，用于进行写操作。
3. 内存地址控制块，用于产生内存地址。
4. 数据输入控制块，用于输入数据。

除此之外，访存阶段的最后还将根据 icode 判断出的指令有效性以及内存状况产生 instr_valid 和 imem_error 信号来计算状态码。

写回阶段的硬件设计

Datawhale

首先为寄存器文件系统添加 M 和 E，这两个写端口，对应的地址输入为 dstE 和 dstM。需要注意的是，当执行条件传送指令 (cmov) 时，写入操作还要根据执行阶段计算出的 cnd 信号，当条件不满足条件时，以将目的寄存器设置为 0xF 来禁止写入寄存器文件。

更新阶段的硬件设计

Datawhale

在更新阶段，PC 的值有以下三种情况：

1. 当前执行的指令是函数调用指令 call，此使将 PC 值设为 call 指令的常数字段。
2. 当前执行的指令是函数返回指令 ret，此使将 PC 值设为 ret 指令在访存阶段从内存中读出的返回地址。
3. 当前执行的指令是跳转指令 jxx，此使若满足跳转条件（cnd $= 1$），则新的 PC 值等于跳转指令的常数字段；若不满足跳转条件（cnd $= 0$），则新的 PC 值等于当前 PC 值加上当前指令长度。
4. 数据输入控制块，用于输入数据。