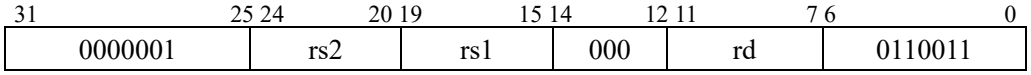
见下页

mul rd, rs1, rs2

$x[rd] = x[rs1] \times x[rs2]$

乘(Multiply). R-type, RV32M and RV64M.

把寄存器 x[*rs2*]乘到寄存器 x[*rs1*]上，乘积写入 x[*rd*]。忽略算术溢出。



31 25	24 20	19 15	14 12	11 7	6 0
0000001	rs2	rs1	000	rd	0110011

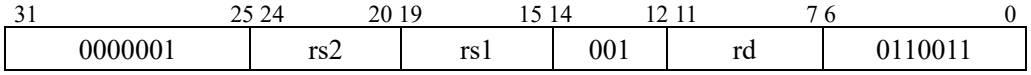
---

mulh rd, rs1, rs2

$x[rd] = (x[rs1]\ {}_s \times_s x[rs2]) \gg_s XLEN$

高位乘(Multiply High). R-type, RV32M and RV64M.

把寄存器 x[*rs2*]乘到寄存器 x[*rs1*]上，都视为 2 的补码，将乘积的高位写入 x[*rd*]。



31 25	24 20	19 15	14 12	11 7	6 0
0000001	rs2	rs1	001	rd	0110011

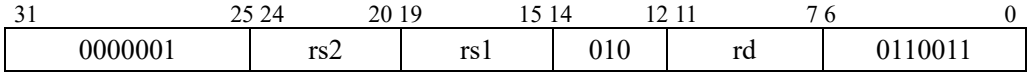
---

mulhsu rd, rs1, rs2

$x[rd] = (x[rs1]\ {}_s \times_u x[rs2]) \gg_s XLEN$

高位有符号−无符号乘(Multiply High Signed-Unsigned). R-type, RV32M and RV64M.

把寄存器 x[*rs2*]乘到寄存器 x[*rs1*]上，x[*rs1*]为 2 的补码，x[*rs2*]为无符号数，将乘积的高位写入 x[*rd*]。



31 25	24 20	19 15	14 12	11 7	6 0
0000001	rs2	rs1	010	rd	0110011

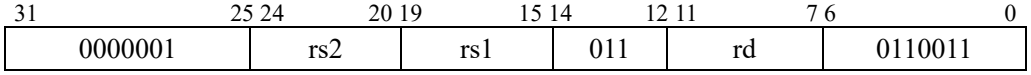
---

mulhu rd, rs1, rs2

$x[rd] = (x[rs1]\ {}_u \times_u x[rs2]) \gg_u XLEN$

高位无符号乘(Multiply High Unsigned). R-type, RV32M and RV64M.

把寄存器 x[*rs2*]乘到寄存器 x[*rs1*]上，x[*rs1*]、x[*rs2*]均为无符号数，将乘积的高位写入 x[*rd*]。



31 25	24 20	19 15	14 12	11 7	6 0
0000001	rs2	rs1	011	rd	0110011

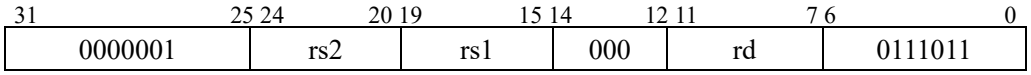
---

mulw rd, rs1, rs2

$x[rd] = sext((x[rs1] \times x[rs2])[31:0])$

乘字(Multiply Word). R-type, RV64M only.

把寄存器 x[*rs2*]乘到寄存器 x[*rs1*]上，乘积截为 32 位，进行有符号扩展后写入 x[*rd*]。忽略算术溢出。



31 25	24 20	19 15	14 12	11 7	6 0
0000001	rs2	rs1	000	rd	0111011

---

mv rd, rs1

$x[rd] = x[rs1]$

移动(Move). 伪指令(Pseudoinstruction), RV32I and RV64I.

把寄存器 x[*rs1*]复制到 x[*rd*]中。实际被扩展为 **addi** rd, rs1, 0

---

neg rd, rs2

$x[rd] = -x[rs2]$

取反*(Negate)*. 伪指令(Pseudoinstruction), RV32I and RV64I.

把寄存器 x[*rs2*]的二进制补码写入 x[*rd*]。实际被扩展为 **sub** rd, x0, rs2。

---

negw rd, rs2

$x[rd] = sext((-x[rs2])[31:0])$

取非字*(Negate Word)*. 伪指令(Pseudoinstruction), RV64I only.

计算寄存器 x[*rs2*]对于 2 的补码，结果截为 32 位，进行符号扩展后写入 x[*rd*]。实际被扩展为 **subw** rd, x0, rs2。

---

nop

Nothing

无操作*(No operation)*. 伪指令(Pseudoinstruction), RV32I and RV64I.

将 *pc* 推进到下一条指令。实际被扩展为 **addi** x0, x0, 0。

---

not rd, rs1

$x[rd] = \sim x[rs1]$

取反*(NOT)*. 伪指令(Pseudoinstruction), RV32I and RV64I.

把寄存器 x[*rs1*]对于 1 的补码（即按位取反的值）写入 x[*rd*]。实际被扩展为 **xori** rd, rs1, -1。

---

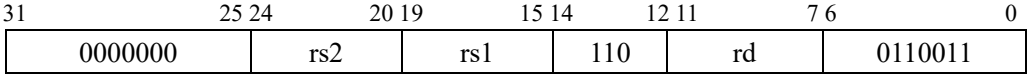
or rd, rs1, rs2

$x[rd] = x[rs1] \mid x[rs2]$

取或*(OR)*. R-type, RV32I and RV64I.

把寄存器 x[*rs1*]和寄存器 x[*rs2*]按位取或，结果写入 x[*rd*]。

压缩形式：**c.or** rd, rs2



---

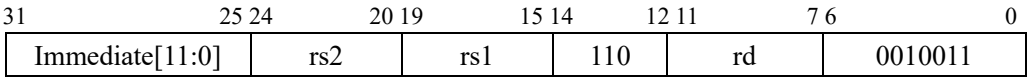
ori rd, rs1, immediate

$x[rd] = x[rs1] \mid sext(immediate)$

立即数取或*(OR Immediate)*. R-type, RV32I and RV64I.

把寄存器 x[*rs1*]和有符号扩展的立即数 *immediate* 按位取或，结果写入 x[*rd*]。

压缩形式：**c.or** rd, rs2



---

rdcycle rd

$x[rd] = CSRS[cycle]$

读周期计数器*(Read Cycle Counter)*. 伪指令(Pseudoinstruction), RV32I and RV64I.

把周期数写入 x[*rd*]。实际被扩展为 **csrrs** rd, cycle, x0。

---

rdcycleh rd

x[rd] = CSRs[cycleh]

读周期计数器高位*(Read Cycle Counte High)*. 伪指令(Pseudoinstruction), RV32I only.
把周期数右移 32 位后写入 x[*rd*]。实际被扩展为 **csrrs** rd, cycleh, x0。

---

rdinstret rd

x[rd] = CSRs[instret]

读已完成指令计数器*(Read Instruction-Retired Counter)*. 伪指令(Pseudoinstruction), RV32I and RV64I.
把已完成指令数写入 x[*rd*]。实际被扩展为 **csrrs** rd, instret, x0。

---

rdinstreth rd

x[rd] = CSRs[instreth]

读已完成指令计数器高位*(Read Instruction-Retired Counter High)*. 伪指令(Pseudoinstruction), RV32I only.
把已完成指令数右移 32 位后写入 x[*rd*]。实际被扩展为 **csrrs** rd, instreth, x0。

---

rdtime rd

x[rd] = CSRs[time]

读取时间*(Read Time)*. 伪指令(Pseudoinstruction), RV32I and RV64I.
把当前时间写入 x[*rd*]，时间频率与平台相关。实际被扩展为 **csrrs** rd, time, x0。

---

rdtimeh rd

x[rd] = CSRs[timeh]

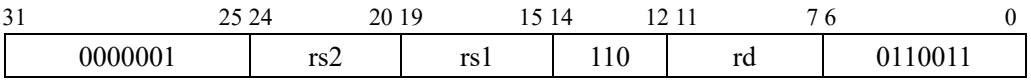
读取时间高位*(Read Time High)*. 伪指令(Pseudoinstruction), RV32I only.
把当前时间右移 32 位后写入 x[*rd*]，时间频率与平台相关。实际被扩展为 **csrrs** rd, timeh, x0。

---

rem rd, rs1, rs2

$x[rd] = x[rs1] \%_s x[rs2]$

求余数*(Remainder)*. R-type, RV32M and RV64M.
x[*rs1*]除以 x[*rs2*]，向 0 舍入，都视为 2 的补码，余数写入 x[*rd*]。

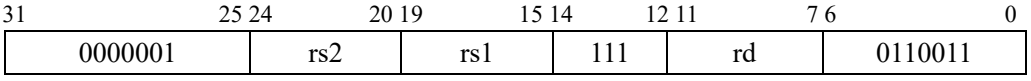


---

remu rd, rs1, rs2

$x[rd] = x[rs1] \%_u x[rs2]$

求无符号数的余数*(Remainder, Unsigned)*. R-type, RV32M and RV64M.
x[*rs1*]除以 x[*rs2*]，向 0 舍入，都视为无符号数，余数写入 x[*rd*]。



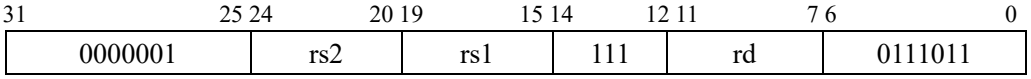
---

remuw rd, rs1, rs2

$x[rd] = sext(x[rs1][31:0] \%_u x[rs2][31:0])$

求无符号数的余数字(Remainder Word, Unsigned). R-type, RV64M only.

x[*rs1*]的低 32 位除以 x[*rs2*]的低 32 位，向 0 舍入，都视为无符号数，将余数的有符号扩展写入 x[*rd*]。



31–25	24–20	19–15	14–12	11–7	6–0
0000001	rs2	rs1	111	rd	0111011

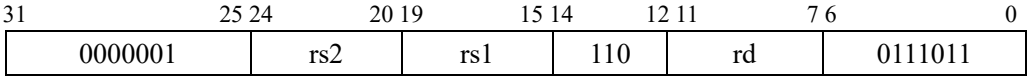
---

remw rd, rs1, rs2

$x[rd] = sext(x[rs1][31:0] \%_s x[rs2][31:0])$

求余数字(Remainder Word). R-type, RV64M only.

x[*rs1*]的低 32 位除以 x[*rs2*]的低 32 位，向 0 舍入，都视为 2 的补码，将余数的有符号扩展写入 x[*rd*]。



31–25	24–20	19–15	14–12	11–7	6–0
0000001	rs2	rs1	110	rd	0111011

---

ret

$pc = x[1]$

返回*(Return)*. 伪指令(Pseudoinstruction), RV32I and RV64I.

从子过程返回。实际被扩展为 **jalr** x0, 0(x1)。

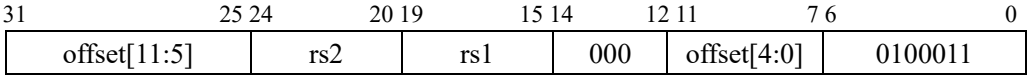
---

sb rs2, offset(rs1)

$M[x[rs1] + sext(offset) = x[rs2][7:0]$

存字节(Store Byte). S-type, RV32I and RV64I.

将 x[*rs2*]的低位字节存入内存地址 x[*rs1*]+*sign-extend(offset)*。



31–25	24–20	19–15	14–12	11–7	6–0
offset[11:5]	rs2	rs1	000	offset[4:0]	0100011

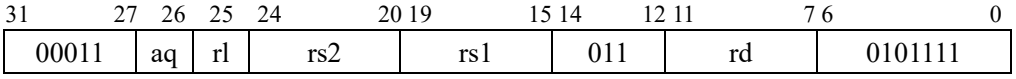
---

sc.d rd, rs2, (rs1)

$x[rd] = StoreConditonal64(M[x[rs1], x[rs2])$

条件存入双字(Store-Conditional Doubleword). R-type, RV64A only.

如果内存地址 x[*rs1*]上存在加载保留，将 x[*rs2*]寄存器中的 8 字节数存入该地址。如果存入成功，向寄存器 x[*rd*]中存入 0，否则存入一个非 0 的错误码。



31–27	26	25	24–20	19–15	14–12	11–7	6–0
00011	aq	rl	rs2	rs1	011	rd	0101111

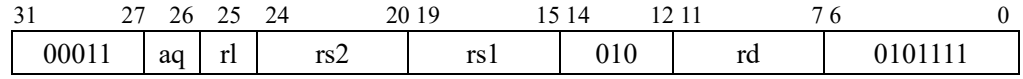
---

sc.w rd, rs2, (rs1)

$x[rd] = StoreConditonal32(M[x[rs1], x[rs2])$

条件存入字(Store-Conditional Word). R-type, RV32A and RV64A.

内存地址 x[*rs1*]上存在加载保留，将 x[*rs2*]寄存器中的 4 字节数存入该地址。如果存入成功，向寄存器 x[*rd*]中存入 0，否则存入一个非 0 的错误码。



---

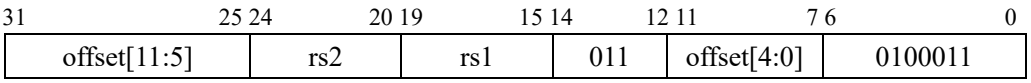
sd rs2, offset(rs1)

$M[x[rs1] + sext(offset) = x[rs2][63:0]$

存双字(Store Doubleword). S-type, RV64I only.

将 x[*rs2*]中的 8 字节存入内存地址 x[*rs1*]+*sign-extend(offset)*。

压缩形式：**c.sdsp** rs2, offset; **c.sd** rs2, offset(rs1)



---

seqz rd, rs1

$x[rd] = (x[rs1] == 0)$

等于 0 则置位(Set if Equal to Zero). 伪指令(Pseudoinstruction), RV32I and RV64I.

如果 x[*rs1*]等于 0，向 x[*rd*]写入 1，否则写入 0。实际被扩展为 **sltiu** rd, rs1, 1。

---

sext.w rd, rs1

$x[rd] = sext(x[rs1][31:0])$

有符号字扩展(Sign-extend Word). 伪指令(Pseudoinstruction), RV64I only.

读入 x[*rs1*]的低 32 位，有符号扩展，结果写入 x[*rd*]。实际被扩展为 **addiw** rd, rs1, 0。

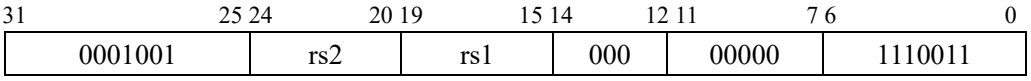
---

sfence.vma rs1, rs2

Fence(Store, AddressTranslation)

虚拟内存屏障(Fence Virtual Memory). R-type, RV32I and RV64I 特权指令。

根据后续的虚拟地址翻译对之前的页表存入进行排序。当 *rs2*=0 时，所有地址空间的翻译都会受到影响；否则，仅对 x[*rs2*]标识的地址空间的翻译进行排序。当 *rs1*=0 时，对所选地址空间中的所有虚拟地址的翻译进行排序；否则，仅对其中包含虚拟地址 x[*rs1*]的页面地址翻译进行排序。



---

sgtz rd, rs2

$x[rd] = (x[rs1] >_s 0)$

大于 0 则置位(Set if Greater Than Zero). 伪指令(Pseudoinstruction), RV32I and RV64I.

如果 x[*rs2*]大于 0，向 x[*rd*]写入 1，否则写入 0。实际被扩展为 **slt** rd, x0, rs2。

---

sh rs2, offset(rs1)

M[x[rs1] + sext(offset) = x[rs2][15: 0]

存半字(Store Halfword). S-type, RV32I and RV64I.

将 x[*rs2*]的低位 2 个字节存入内存地址 x[*rs1*]+*sign-extend(offset)*。

31 25	24 20	19 15	14 12	11 7	6 0
offset[11:5]	rs2	rs1	001	offset[4:0]	0100011

---

sw rs2, offset(rs1)

M[x[rs1] + sext(offset) = x[rs2][31: 0]

存字(Store Word). S-type, RV32I and RV64I.

将 x[*rs2*]的低位 4 个字节存入内存地址 x[*rs1*]+*sign-extend(offset)*。

压缩形式：**c.swsp** rs2, offset; **c.sw** rs2, offset(rs1)

31 25	24 20	19 15	14 12	11 7	6 0
offset[11:5]	rs2	rs1	010	offset[4:0]	0100011

---

sll rd, rs1, rs2

x[rd] = x[rs1] ≪ x[rs2]

逻辑左移(Shift Left Logical). R-type, RV32I and RV64I.

把寄存器 x[*rs1*]左移 x[*rs2*]位，空出的位置填入 0，结果写入 x[*rd*]。x[*rs2*]的低 5 位（如果是 RV64I 则是低 6 位）代表移动位数，其高位则被忽略。

31 25	24 20	19 15	14 12	11 7	6 0
0000000	rs2	rs1	001	rd	0110011

---

slli rd, rs1, shamt

x[rd] = x[rs1] ≪ shamt

立即数逻辑左移(Shift Left Logical Immediate). I-type, RV32I and RV64I.

把寄存器x[*rs1*]左移*shamt*位，空出的位置填入0，结果写入x[*rd*]。对于RV32I，仅当*shamt*[5]=0时，指令才是有效的。

压缩形式：**c.slli** rd, shamt

31 26	25 20	19 15	14 12	11 7	6 0
000000	shamt	rs1	001	rd	0010011

---

slliw rd, rs1, shamt

x[rd] = sext((x[rs1] ≪ shamt)[31: 0])

立即数逻辑左移字(Shift Left Logical Word Immediate). I-type, RV64I only.

把寄存器 x[*rs1*]左移 *shamt* 位，空出的位置填入 0，结果截为 32 位，进行有符号扩展后写入 x[*rd*]。仅当 *shamt*[5]=0 时，指令才是有效的。

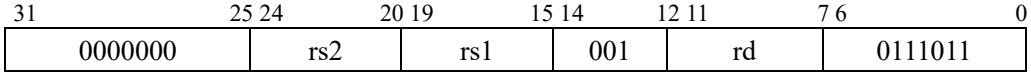
31 26	25 20	19 15	14 12	11 7	6 0
000000	shamt	rs1	001	rd	0011011

---

sllw rd, rs1, rs2 $x[rd] = sext((x[rs1] \ll x[rs2][4:0])[31:0])$

逻辑左移字(Shift Left Logical Word). R-type, RV64I only.

把寄存器 x[*rs1*]的低 32 位左移 x[*rs2*]位，空出的位置填入 0，结果进行有符号扩展后写入 x[*rd*]。x[*rs2*]的低 5 位代表移动位数，其高位则被忽略。

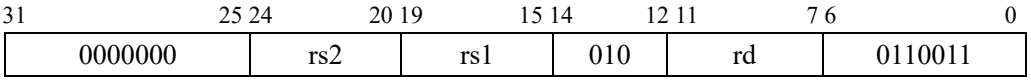


---

slt rd, rs1, rs2 $x[rd] = (x[rs1] <_s x[rs2])$

小于则置位(Set if Less Than). R-type, RV32I and RV64I.

比较 x[*rs1*]和 x[*rs2*]中的数，如果 x[*rs1*]更小，向 x[*rd*]写入 1，否则写入 0。

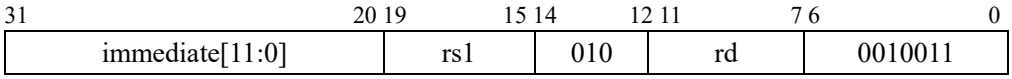


---

slti rd, rs1, immediate $x[rd] = (x[rs1] <_s sext(immediate))$

小于立即数则置位(Set if Less Than Immediate). I-type, RV32I and RV64I.

比较 x[*rs1*]和有符号扩展的 *immediate*，如果 x[*rs1*]更小，向 x[*rd*]写入 1，否则写入 0。

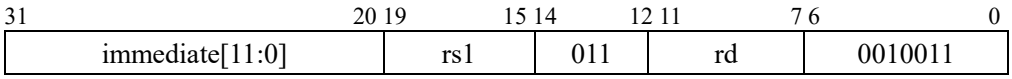


---

sltiu rd, rs1, immediate $x[rd] = (x[rs1] <_u sext(immediate))$

无符号小于立即数则置位(Set if Less Than Immediate, Unsigned). I-type, RV32I and RV64I.

比较 x[*rs1*]和有符号扩展的 *immediate*，比较时视为无符号数。如果 x[*rs1*]更小，向 x[*rd*]写入 1，否则写入 0。

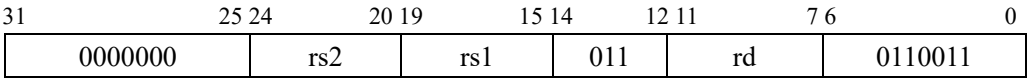


---

sltu rd, rs1, rs2 $x[rd] = (x[rs1] <_u x[rs2])$

无符号小于则置位(Set if Less Than, Unsigned). R-type, RV32I and RV64I.

比较 x[*rs1*]和 x[*rs2*]，比较时视为无符号数。如果 x[*rs1*]更小，向 x[*rd*]写入 1，否则写入 0。



---

sltz rd, rs1 $x[rd] = (x[rs1] <_s 0)$

小于 0 则置位*(Set if Less Than to Zero)*. 伪指令(Pseudoinstruction), RV32I and RV64I.

如果 x[*rs1*]小于 0，向 x[*rd*]写入 1，否则写入 0。实际扩展为 **slt** rd, rs1, x0。

---

snez rd, rs2 $x[rd] = x[rs2] \neq 0)$

不等于 0 则置位*(Set if Not Equal to Zero)*. 伪指令(Pseudoinstruction), RV32I and RV64I.

如果 x[*rs1*]不等于 0，向 x[*rd*]写入 1，否则写入 0。实际扩展为 **sltu** rd, x0, rs2。

---

sra rd, rs1, rs2 $x[rd] = (x[rs1] \gg_s x[rs2])$

算术右移*(Shift Right Arithmetic)*. R-type, RV32I and RV64I.

把寄存器 x[*rs1*]右移 x[*rs2*]位，空位用 x[*rs1*]的最高位填充，结果写入 x[*rd*]。x[*rs2*]的低 5 位（如果是 RV64I 则是低 6 位）为移动位数，高位则被忽略。

31 25	24 20	19 15	14 12	11 7	6 0
0100000	rs2	rs1	101	rd	0110011

---

srai rd, rs1, shamt $x[rd] = (x[rs1] \gg_s shamt)$

立即数算术右移*(Shift Right Arithmetic Immediate)*. I-type, RV32I and RV64I.

把寄存器 x[*rs1*]右移 *shamt* 位，空位用 x[*rs1*]的最高位填充，结果写入 x[*rd*]。对于 RV32I，仅当 *shamt*[5]=0 时指令有效。

压缩形式：**c.srai** rd, shamt

31 26	25 20	19 15	14 12	11 7	6 0
010000	shamt	rs1	101	rd	0010011

---

sraiw rd, rs1, shamt $x[rd] = sext(x[rs1][31:0] \gg_s shamt)$

立即数算术右移字*(Shift Right Arithmetic Word Immediate)*. I-type, RV64I only.

把寄存器 x[*rs1*]的低 32 位右移 *shamt* 位，空位用 x[*rs1*][31]填充，结果进行有符号扩展后写入 x[*rd*]。仅当 *shamt*[5]=0 时指令有效。

压缩形式：**c.srai** rd, shamt

31 26	25 20	19 15	14 12	11 7	6 0
010000	shamt	rs1	101	rd	0011011

---

sraw rd, rs1, rs2

$x[rd] = sext(x[rs1][31:0] \gg_s x[rs2][4:0])$

算术右移字(Shift Right Arithmetic Word). R-type, RV64I only.

把寄存器 x[*rs1*]的低 32 位右移 x[*rs2*]位，空位用 x[*rs1*][31]填充，结果进行有符号扩展后写入 x[*rd*]。x[*rs2*]的低 5 位为移动位数，高位则被忽略。

31 25	24 20	19 15	14 12	11 7	6 0
0100000	rs2	rs1	101	rd	0111011

---

sret

ExceptionReturn(Supervisor)

管理员模式例外返回(Supervisor-mode Exception Return). R-type, RV32I and RV64I 特权指令。

从管理员模式的例外处理程序中返回，设置 *pc* 为 CSRs[spec]，权限模式为 CSRs[sstatus].SPP，CSRs[sstatus].SIE 为 CSRs[sstatus].SPIE，CSRs[sstatus].SPIE 为 1，CSRs[sstatus].spp 为 0。

31 25	24 20	19 15	14 12	11 7	6 0
0001000	00010	00000	000	00000	1110011

---

srl rd, rs1, rs2

$x[rd] = (x[rs1] \gg_u x[rs2])$

逻辑右移(Shift Right Logical). R-type, RV32I and RV64I.

把寄存器 x[*rs1*]右移 x[*rs2*]位，空出的位置填入 0，结果写入 x[*rd*]。x[*rs2*]的低 5 位（如果是 RV64I 则是低 6 位）代表移动位数，其高位则被忽略。

31 25	24 20	19 15	14 12	11 7	6 0
0000000	rs2	rs1	101	rd	0110011

---

srli rd, rs1, shamt

$x[rd] = (x[rs1] \gg_u shamt)$

立即数逻辑右移(Shift Right Logical Immediate). I-type, RV32I and RV64I.

把寄存器 x[*rs1*]右移 *shamt* 位，空出的位置填入 0，结果写入 x[*rd*]。对于 RV32I，仅当 *shamt*[5]=0 时，指令才是有效的。

压缩形式：**c.srli** rd, shamt

31 26	25 20	19 15	14 12	11 7	6 0
000000	shamt	rs1	101	rd	0010011

---

srliw rd, rs1, shamt

$x[rd] = sext(x[rs1][31:0] \gg_u shamt)$

立即数逻辑右移字(Shift Right Logical Word Immediate). I-type, RV64I only.

把寄存器 x[*rs1*]右移 *shamt* 位，空出的位置填入 0，结果截为 32 位，进行有符号扩展后写入 x[*rd*]。仅当 *shamt*[5]=0 时，指令才是有效的。

31 26	25 20	19 15	14 12	11 7	6 0
000000	shamt	rs1	101	rd	0011011

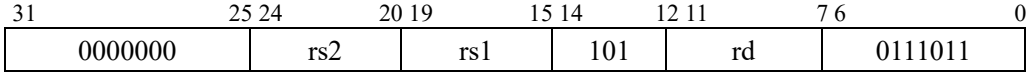
---

srlw rd, rs1, rs2

$x[rd] = sext(x[rs1][31:0] \gg_u x[rs2][4:0])$

逻辑右移字(Shift Right Logical Word). R-type, RV64I only.

把寄存器 x[*rs1*]的低 32 位右移 x[*rs2*]位，空出的位置填入 0，结果进行有符号扩展后写入 x[*rd*]。x[*rs2*]的低 5 位代表移动位数，其高位则被忽略。



31 25	24 20	19 15	14 12	11 7	6 0
0000000	rs2	rs1	101	rd	0111011

---

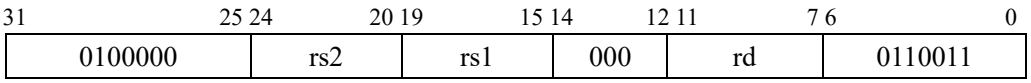
sub rd, rs1, rs2

$x[rd] = x[rs1] - x[rs2]$

减(Substract). R-type, RV32I and RV64I.

x[*rs1*]减去 x[*rs2*]，结果写入 x[*rd*]。忽略算术溢出。

压缩形式：**c.sub** rd, rs2



31 25	24 20	19 15	14 12	11 7	6 0
0100000	rs2	rs1	000	rd	0110011

---

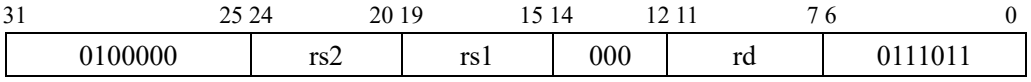
subw rd, rs1, rs2

$x[rd] = sext((x[rs1] - x[rs2])[31:0])$

减去字(Substract Word). R-type, RV64I only.

x[*rs1*]减去 x[*rs2*]，结果截为 32 位，有符号扩展后写入 x[*rd*]。忽略算术溢出。

压缩形式：**c.subw** rd, rs2



31 25	24 20	19 15	14 12	11 7	6 0
0100000	rs2	rs1	000	rd	0111011

---

tail symbol

pc = &symbol; clobber x[6]

尾调用(Tail call). 伪指令(Pseudoinstuction), RV32I and RV64I.

设置 *pc* 为 *symbol*，同时覆写 x[6]。实际扩展为 **auipc** x6, offsetHi 和 **jalr** x0, offsetLo(x6)。

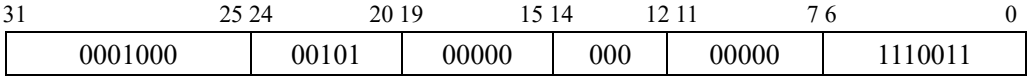
---

wfi

while (noInterruptPending) idle

等待中断(Wait for Interrupt). R-type, RV32I and RV64I 特权指令。

如果没有待处理的中断，则使处理器处于空闲状态。



31 25	24 20	19 15	14 12	11 7	6 0
0001000	00101	00000	000	00000	1110011

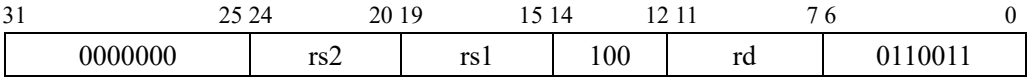
---

xor rd, rs1, rs2 x[rd] = x[rs1] ^ x[rs2]

异或*(Exclusive-OR)*. R-type, RV32I and RV64I.

x[*rs1*]和 x[*rs2*]按位异或，结果写入 x[*rd*]。

压缩形式：**c.xor** rd, rs2



---

xori rd, rs1, immediate x[rd] = x[rs1] ^ sext(immediate)

立即数异或*(Exclusive-OR Immediate)*. I-type, RV32I and RV64I.

x[*rs1*]和有符号扩展的 *immediate* 按位异或，结果写入 x[*rd*]。

压缩形式：**c.xor** rd, rs2