

Formalizing RISC-V Instructions for RIPES for SCLP

Sai Ghule, Bhagyashree Rane, Shravasti Deore, Uday Khedker

November 2021

1 Notation

H - Heap

D - Data

C - Code

R - Register

FPR - Floating Point Registers

$$\begin{array}{llll} I \in \{mv, cmp, cf\} & \{mv, cmp, cf\} : \tau_C^I & & \\ O \in \{int, dub, wrd, addr, lab, gpr, fpr, off\} & \{lab\} : \tau_C^O & \{gpr\} : \tau_R^O & \{fpr\} : \tau_{FPR}^O \end{array}$$

2 Load Instructions

$$[Load\ Integer\ Immediate] \frac{S(li, o1, o2) : \tau_{mv}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{int}^S}{H; D; C; R \vdash S(li, o1, o2) \rightarrow H; D; C; R[o1 \mapsto o2]} \quad R : \tau_{gpr}^S \quad (1)$$

$$[Load\ Word] \frac{S(lw, o1, o2) : \tau_{mv}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{addr}^S}{H; D; C; R \vdash S(lw, o1, o2) \rightarrow H; D; C; R[o1 \mapsto D[o2 : o2 + 4]]} \quad R : \tau_{gpr}^S \quad (2)$$

$$[Load\ Address] \frac{S(la, o1, o2) : \tau_{mv}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{addr}^S}{H; D; C; R \vdash S(la, o1, o2) \rightarrow H; D; C; R[o1 \mapsto o2]} \quad R : \tau_{gpr}^S \quad (3)$$

$$[Load\ Address\ Indirect] \frac{S(la, o1, o2, o3) : \tau_{mv}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{off}^S \quad o3 : \tau_{reg}^S}{H; D; C; R \vdash S(la, o1, o2, o3) \rightarrow H; D; C; R[o1 \mapsto R[o3] + o2]} \quad R : \tau_{gpr}^S \quad (4)$$

$$[Load\ Word\ Indirect] \frac{S(lw, o1, o2, o3) : \tau_{mv}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{off}^S \quad o3 : \tau_{gpr}^S}{H; D; C; R \vdash S(lw, o1, o2, o3) \rightarrow H; D; C; R[o1 \mapsto R[o3] + o2]} \quad R : \tau_{gpr}^S \quad (5)$$

3 Store Instructions

$$[Store\ Word] \frac{S(sw, o1, o2) : \tau_{mv}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{addr}^S}{H; D; C; R \vdash S(sw, o1, o2) \rightarrow H; D[[o2 : o2 + 4] \mapsto R[o1]]; C; R} \quad R : \tau_{gpr}^S \quad R : \tau_{gpr}^S \quad (6)$$

$$[\textit{Store Word Indirect}] \frac{S(sw, o1, o2, o3) : \tau_{mv}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{off}^S \quad o3 : \tau_{gpr}^S}{H; D; C; R \vdash S(lw, o1, o2, o3) \rightarrow H; D; C; R[o3] + o2 : R[o3] + o2 + 4 \mapsto R[o1]]; C; R \quad R : \tau_{gpr}^S} \quad (7)$$

4 Move Instructions

$$[\textit{Move}] \frac{S(mv, o1, o2) : \tau_{mv}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{gpr}^S}{H; D; C; R \vdash S(move, o1, o2) \rightarrow H; D; C; R[o2 \mapsto R[o1]]} \quad R : \tau_{gpr}^S \quad (8)$$

5 Compute Instructions

$$[\textit{Add ints}] \frac{S(add, o1, o2, o3) : \tau_{cmp}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{gpr}^S \quad o3 : \tau_{gpr}^S}{H; D; C; R \vdash S(add, o1, o2) \rightarrow H; D; C; R[o1 \mapsto R[o2] + R[o3]]} \quad R : \tau_{gpr}^S \quad (9)$$

$$[\textit{Add ints}] \frac{S(addi, o1, o2, o3) : \tau_{cmp}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{gpr}^S \quad o3 : \tau_{int}^S}{H; D; C; R \vdash S(addi, o1, o2) \rightarrow H; D; C; R[o1 \mapsto R[o2] + o3]} \quad R : \tau_{gpr}^S \quad (10)$$

$$[\textit{Sub ints}] \frac{S(sub, o1, o2, o3) : \tau_{cmp}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{gpr}^S \quad o3 : \tau_{gpr}^S}{H; D; C; R \vdash S(sub, o1, o2, o3) \rightarrow H; D; C; R[o1 \mapsto R[o2] - R[o3]]} \quad R : \tau_{gpr}^S \quad (11)$$

$$[\textit{Sub ints}] \frac{S(sub, o1, o2, o3) : \tau_{cmp}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{gpr}^S \quad o3 : \tau_{int}^S}{H; D; C; R \vdash S(sub, o1, o2, o3) \rightarrow H; D; C; R[o1 \mapsto R[o2] - o3]} \quad R : \tau_{gpr}^S \quad (12)$$

$$[\textit{Multiply ints}] \frac{S(mul, o1, o2, o3) : \tau_{cmp}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{gpr}^S \quad o3 : \tau_{gpr}^S}{H; D; C; R \vdash S(mul, o1, o2, o3) \rightarrow H; D; C; R[o1 \mapsto R[o2] \times R[o3]]} \quad R : \tau_{gpr}^S \quad (13)$$

$$[\textit{Divide ints}] \frac{S(div, o1, o2, o3) : \tau_{cmp}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{gpr}^S \quad o3 : \tau_{gpr}^S}{H; D; C; R \vdash S(div, o1, o2, o3) \rightarrow H; D; C; R[o1 \mapsto R[o2] \div R[o3]]} \quad R : \tau_{gpr}^S \quad (14)$$

6 Comparison Instructions

$$[\textit{If less than immediate}] \frac{S(slti, o1, o2, o3) : \tau_{cmp}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{gpr}^S \quad o3 : \tau_{int}^S}{H; D; C; R \vdash S(slt, o1, o2, o3) \rightarrow H; D; C; R[o1 \mapsto (R[o2] < o3 ? 1 : 0)]} \quad R : \tau_{gpr}^S \quad (15)$$

$$[\textit{If less than}] \frac{S(slt, o1, o2, o3) : \tau_{cmp}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{gpr}^S \quad o3 : \tau_{gpr}^S}{H; D; C; R \vdash S(slt, o1, o2, o3) \rightarrow H; D; C; R[o1 \mapsto (R[o2] < R[o3] ? 1 : 0)]} \quad R : \tau_{gpr}^S \quad (16)$$

$$[\textit{If greater than}] \frac{S(sgt, o1, o2, o3) : \tau_{cmp}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{gpr}^S \quad o3 : \tau_{gpr}^S}{H; D; C; R \vdash S(sgt, o1, o2, o3) \rightarrow H; D; C; R[o1 \mapsto (R[o2] > R[o3] ? 1 : 0)]} \quad R : \tau_{gpr}^S \quad (17)$$

$$[If\ equal\ to\ zero] \frac{S(seqz, o1, o2) : \tau_{cmp}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{gpr}^S}{H; D; C; R \vdash S(sne, o1, o2) \rightarrow H; D; C; R[o1 \mapsto (R[o2] = 0?1 : 0)]} R : \tau_{gpr}^S \quad (18)$$

$$[If\ not\ equal\ to\ zero] \frac{S(seqz, o1, o2) : \tau_{cmp}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{gpr}^S}{H; D; C; R \vdash S(sne, o1, o2) \rightarrow H; D; C; R[o1 \mapsto (R[o2] \neq 0?1 : 0)]} R : \tau_{gpr}^S \quad (19)$$

7 Logical Instructions

$$[And] \frac{S(and, o1, o2, o3) : \tau_{cmp}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{gpr}^S \quad o3 : \tau_{int}^S}{H; D; C; R \vdash S(and, o1, o2, o3) \rightarrow H; D; C; R[o1 \mapsto R[o2] \wedge o3]} R : \tau_{gpr}^S \quad (20)$$

$$[Or] \frac{S(or, o1, o2, o3) : \tau_{cmp}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{gpr}^S \quad o3 : \tau_{int}^S}{H; D; C; R \vdash S(or, o1, o2, o3) \rightarrow H; D; C; R[o1 \mapsto R[o2] \vee o3]} R : \tau_{gpr}^S \quad (21)$$

$$[Not] \frac{S(xori, o1, o2, 1) : \tau_{cmp}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{gpr}^S \quad o3 : \tau_{int}^S}{H; D; C; R \vdash S(xori, o1, o2, 1) \rightarrow H; D; C; R[o1 \mapsto R[o2] \oplus o3]} R : \tau_{gpr}^S \quad (22)$$

8 Control Flow Instructions

$$[Jump] \frac{S(j, o1) : \tau_{cf}^S \quad o1 : \tau_{lab}^S}{H; D; C; R \vdash S(j, o1) \rightarrow H; D; C; R[pc \mapsto o1]} R : \tau_{gpr}^S \quad (23)$$

$$[bgtz] \frac{S(bgtz, o1, o2) : \tau_{cf}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{lab}^S}{H; D; C; R \vdash S(bgtz, o1, o2) \rightarrow H; D; C; R[pc \mapsto R[o1] > 0?o2 : R[pc] + 4]} R : \tau_{gpr}^S \quad (24)$$

$$[bgez] \frac{S(bgez, o1, o2) : \tau_{cf}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{lab}^S}{H; D; C; R \vdash S(bgez, o1, o2) \rightarrow H; D; C; R[pc \mapsto R[o1] \geq 0?Address[o2] : R[pc] + 4]} R : \tau_{gpr}^S \quad (25)$$

$$[bltz] \frac{S(bltz, o1, o2) : \tau_{cf}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{lab}^S}{H; D; C; R \vdash S(bltz, o1, o2) \rightarrow H; D; C; R[pc \mapsto R[o1] < 0?o2 : R[pc] + 4]} \quad (26)$$

$$[blez] \frac{S(blez, o1, o2) : \tau_{cf}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{lab}^S}{H; D; C; R \vdash S(blez, o1, o2) \rightarrow H; D; C; R[pc \mapsto R[o1] \leq 0?o2 : R[pc] + 4]} R : \tau_{gpr}^S \quad (27)$$

$$[beq] \frac{S(beq, o1, o2, o3) : \tau_{cf}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{gpr}^S \quad o3 : \tau_{lab}^S}{H; D; C; R \vdash S(beq, o1, o2) \rightarrow H; D; C; R[pc \mapsto R[o1] = R[o2]?o2 : R[pc] + 4]} R : \tau_{gpr}^S \quad (28)$$

$$[bne] \frac{S(bne, o1, o2, o3) : \tau_{cf}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S \quad o2 : \tau_{gpr}^S \quad o3 : \tau_{lab}^S}{H; D; C; R \vdash S(bne, o1, o2) \rightarrow H; D; C; R[pc \mapsto R[o1] \neq R[o2]?o2 : R[pc] + 4] \quad R : \tau_{gpr}^S} \quad (29)$$

$$[jumpregister] \frac{S(jr, o1) : \tau_{cf}^S \quad o1 : \tau_{gpr}^S}{H; D; C; R \vdash S(jr, o1, o2) \rightarrow H; D; C; R[pc \mapsto R[o1]] \quad R : \tau_{gpr}^S} \quad (30)$$

$$[Call] \frac{S(jal, lab) : \tau_{cf}^S \quad o1 : \tau_{lab}^S}{H; D; C; R \vdash S(jal, lab) \rightarrow H; D; C; R[ra \mapsto R[pc] \oslash 4], R[pc \mapsto o1] \quad R : \tau_{ra}^S \quad R : \tau_{pc}^S} \quad (31)$$