

Pendulum 命令セットアーキテクチャの解釈系

2013 年 10 月 31 日

1 はじめに

Pendulum 命令セットアーキテクチャ (PISA) の解釈系を開発する．PISA にはいくつかの種類があるが，本プロジェクトでは Frank の博士論文の付録 B にあるものを対象とする．

2 PISA の構文

PISA の命令は次の 3 種類に分けられる：

1. 可逆算術/論理演算
2. 分岐命令
3. 特殊命令

2.1 可逆算術/論理演算

- 加算

- ADD

- ADDI

- 論理積

- ANDX

- ANDIX

- 否定論理和

- NORX

- 符号反転

- NEG

- 論理和

- ORX
 - ORIX
- ビットローテーション
 - RL
 - RR
 - RLV
 - RRV
- ビットシフト
 - SLLX
 - SRAX
 - SRLX
 - SLLVX
 - SRAVX
 - SRLVX
- 減算
 - SUB
- 排他的論理和
 - XOR
 - XORI

2.2 分岐命令

- 条件分岐
 - BEQ
 - BLEZ
 - BRA
 - BGEZ
 - BLTZ
 - BGTZ
 - BNE
- 無条件分岐
 - BRA

2.3 特殊命令

- 記憶域操作
 - EXCH
 - SWAPBR
- 逆実行
 - RBRA
- 外部入力

READ

- 外部出力

- SHOW

- EMIT

- エンドポイント

- START

- FINISH

2.4 BNF による表現

構文を BNF によって表すと次のようになる .

$inst$	$::=$	NEG r	ADD $r\ r$	ADDI $r\ i$
		SUB $r\ r$	XOR $r\ r$	XORI $r\ i$
		RL $r\ i$	RLV $r\ i$	RR $r\ i$
		RRV $r\ r$	ANDX $r\ r\ r$	ANDIX $r\ r\ i$
		NORX $r\ r\ r$	ORX $r\ r\ r$	ORIX $r\ r\ i$
		SLLX $r\ r\ i$	SLLVX $r\ r\ r$	SLTX $r\ r\ r$
		SLTIX $r\ r\ i$	SRAX $r\ r\ i$	SRAVX $r\ r\ r$
		SRLX $r\ r\ i$	SRLVX $r\ r\ r$	BEQ $r\ r\ o$
		BGEZ $r\ o$	BGTZ $r\ o$	BLEZ $r\ o$
		BLTZ $r\ o$	BNE $r\ r\ o$	BRA lo
		RBRA lo	SWAPBR r	EXCH $r\ r$
		READ r	SHOW r	EMIT r

$r ::= 5\text{ bit register identifier}$
 $i ::= 16\text{ bit signed immediate}$
 $o ::= 16\text{ bit signed offset}$
 $lo ::= 26\text{ bit signed offset}$

3 状態モデル

PISA の抽象機械はメモリ , レジスタ , Control logic の 3 つの要素から構成される .

3.1 Control logic

Control logic は次の 3 つの要素から構成される .

- Program counter
- Branch register
- Direction bit

(以下 , それぞれ pc , br , dir とする .)

Control logic の状態により , 命令は次の規則に従い実行される .

- br の値が 0 の場合 , pc に dir の値を加算する

- br の値が非 0 の場合 , pc に br と dir の積を加算する

3.2 モデル

PISA の状態 σ Σ は $\Sigma = \mathcal{M} \times \mathcal{R} \times \mathcal{C}$ で表される . \mathcal{M} 、 \mathcal{R} 、 \mathcal{C} はそれぞれ次のように定義される .

$$\begin{aligned} \text{Memory: } \quad \mathcal{M} \ni M : \mathbb{Z}_{32} &\rightarrow \mathbb{Z}_{32} \\ \text{Registers: } \quad \mathcal{R} \ni R : \text{RegNames} &\rightarrow \mathbb{Z}_{32} \\ \text{Control: } \quad \mathcal{C} \ni C : \mathbb{Z}_{32} \times \mathbb{Z}_{32} \times \{1, -1\} \end{aligned}$$

但し , \mathbb{Z}_{32} は 32bit の整数値の集合であり , RegNames は reg_0 から reg_{31} までのレジスタ名の集合である .

4 PISA の意味論

4.1 Execution Step

- Reversible execution step:

$$\frac{\sigma \rightarrow_{ie} \sigma'' \quad \sigma'' \rightarrow_{pc} \sigma'}{\sigma \rightarrow_1 \sigma'}$$

- Instruction execution:

$$\frac{\sigma = (M, R, (pc, br, dir)) \quad \mathcal{I}(M(pc), dir) = i \quad \langle \sigma, i \rangle \rightarrow_{inst} \sigma'}{\sigma \rightarrow_{ie} \sigma'}$$

- Control logic:

$$\begin{aligned} &\frac{br = 0}{(M, R, (pc, br, dir)) \rightarrow_{pc} (M, R, (pc +_{32} dir, br, dir))} \\ &\frac{br \neq 0}{(M, R, (pc, br, dir)) \rightarrow_{pc} (M, R, (pc +_{32} br \cdot dir, br, dir))} \end{aligned}$$

4.2 Instruction

4.2.1 可逆算術/論理演算

- ANDX :

$$\frac{\sigma = (M, R, C) \quad reg_d \neq reg_s \quad reg_d \neq reg_t}{\langle \sigma, ANDX \ reg_d \ reg_s \ reg_t \rangle \rightarrow_{inst} (M, R[reg_d \mapsto R(reg_d) \oplus (R(reg_s) \wedge R(reg_t))], C)}$$

- ADD:

$$\frac{\sigma = (M, R, C) \quad reg_d \neq reg_s}{\langle \sigma, ADD \ reg_d \ reg_s \rangle \rightarrow_{inst} (M, R[reg_d \mapsto R(reg_d) +_{32} R(reg_s)], C)}$$

- SUB:

$$\frac{\sigma = (M, R, C) \quad reg_d \neq reg_s}{\langle \sigma, SUB \quad reg_d \quad reg_s \rangle \rightarrow_{inst} (M, R[reg_d \mapsto R(reg_d) +_{32} (-R(reg_s))], C)}$$

- ADDI:

$$\frac{\sigma = (M, R, C)}{\langle \sigma, ADDI \quad reg_d \quad imm \rangle \rightarrow_{inst} (M, R[reg_d \mapsto R(reg_d) +_{32} imm], C)}$$

- ANDIX:

$$\frac{\sigma = (M, R, C) \quad reg_d \neq reg_s}{\langle \sigma, ANDIX \quad reg_d \quad reg_s \quad imm \rangle \rightarrow_{inst} (M, R[reg_d \mapsto R(reg_d) \oplus (R(reg_s) \wedge imm)], C)}$$

- NORX:

$$\frac{\sigma = (M, R, C) \quad reg_d \neq reg_s \quad reg_d \neq reg_t}{\langle \sigma, NORX \quad reg_d \quad reg_s \quad reg_t \rangle \rightarrow_{inst} (M, R[reg_d \mapsto R(reg_d) \oplus \overline{(R(reg_s) \vee R(reg_t))}], C)}$$

- NEG:

$$\frac{\sigma = (M, R, C)}{\langle \sigma, NEG \quad reg_{sd} \rangle \rightarrow_{inst} (M, R[reg_{sd} \mapsto 2^{32} +_{32} (-R(reg_{sd}))], C)}$$

- ORX:

$$\frac{\sigma = (M, R, C) \quad reg_d \neq reg_s \quad reg_d \neq reg_t}{\langle \sigma, ORX \quad reg_d \quad reg_s \quad reg_t \rangle \rightarrow_{inst} (M, R[reg_d \mapsto R(reg_d) \oplus (R(reg_s) \vee R(reg_t))], C)}$$

- ORIX:

$$\frac{\sigma = (M, R, C) \quad reg_d \neq reg_s}{\langle \sigma, ORX \quad reg_d \quad reg_s \quad imm \rangle \rightarrow_{inst} (M, R[reg_d \mapsto R(reg_d) \oplus (R(reg_s) \vee imm)], C)}$$

- XOR:

$$\frac{\sigma = (M, R, C) \quad reg_d \neq reg_s}{\langle \sigma, XOR \quad reg_d \quad reg_s \rangle \rightarrow_{inst} (M, R[reg_d \mapsto R(reg_d) \oplus R(reg_s)], C)}$$

- XORI:

$$\frac{\sigma = (M, R, C)}{\langle \sigma, XOR \quad reg_d \quad imm \rangle \rightarrow_{inst} (M, R[reg_d \mapsto R(reg_d) \oplus imm], C)}$$

4.2.2 分岐命令

- BEQ :

$$\frac{\sigma = (M, R, (pc, br, dir)) \quad R(reg_a) = R(reg_b)}{\langle \sigma, BEQ \quad reg_a \quad reg_b \quad off \rangle \rightarrow_{inst} (M, R, (pc, br +_{32} off \cdot dir, dir))}$$

$$\frac{\sigma = (M, R, C) \quad R(reg_a) \neq R(reg_b)}{\langle \sigma, BEQ \quad reg_a \quad reg_b \quad off \rangle \rightarrow_{inst} \sigma}$$

- BRA :

$$\frac{\sigma = (M, R, C)}{\langle (M, R, (pc, br, dir)), BRA \text{ off} \rangle \rightarrow_{inst} (M, R, (pc, br +_{32} \text{ off} \cdot dir, dir))}$$

- BLEZ :

$$\frac{\sigma = (M, R, (pc, br, dir)) \quad R(reg_a) \leq R(reg_b)}{\langle \sigma, BLEZ \text{ reg}_a \text{ reg}_b \text{ off} \rangle \rightarrow_{inst} (M, R, (pc, br +_{32} \text{ off} \cdot dir, dir))}$$

$$\frac{\sigma = (M, R, C) \quad R(reg_a) > R(reg_b)}{\langle \sigma, BLEZ \text{ reg}_a \text{ reg}_b \text{ off} \rangle \rightarrow_{inst} \sigma}$$

- BGEZ :

$$\frac{\sigma = (M, R, (pc, br, dir)) \quad R(reg_a) \geq R(reg_b)}{\langle \sigma, BGEZ \text{ reg}_a \text{ reg}_b \text{ off} \rangle \rightarrow_{inst} (M, R, (pc, br +_{32} \text{ off} \cdot dir, dir))}$$

$$\frac{\sigma = (M, R, C) \quad R(reg_a) < R(reg_b)}{\langle \sigma, BGEZ \text{ reg}_a \text{ reg}_b \text{ off} \rangle \rightarrow_{inst} \sigma}$$

- BLTZ :

$$\frac{\sigma = (M, R, (pc, br, dir)) \quad R(reg_a) < R(reg_b)}{\langle \sigma, BLTZ \text{ reg}_a \text{ reg}_b \text{ off} \rangle \rightarrow_{inst} (M, R, (pc, br +_{32} \text{ off} \cdot dir, dir))}$$

$$\frac{\sigma = (M, R, C) \quad R(reg_a) \geq R(reg_b)}{\langle \sigma, BLTZ \text{ reg}_a \text{ reg}_b \text{ off} \rangle \rightarrow_{inst} \sigma}$$

- BGTZ :

$$\frac{\sigma = (M, R, (pc, br, dir)) \quad R(reg_a) > R(reg_b)}{\langle \sigma, BGTZ \text{ reg}_a \text{ reg}_b \text{ off} \rangle \rightarrow_{inst} (M, R, (pc, br +_{32} \text{ off} \cdot dir, dir))}$$

$$\frac{\sigma = (M, R, C) \quad R(reg_a) \leq R(reg_b)}{\langle \sigma, BGTZ \text{ reg}_a \text{ reg}_b \text{ off} \rangle \rightarrow_{inst} \sigma}$$

- BNE :

4.2.3 特殊命令

- RBRA :

$$\frac{\sigma = (M, R, C)}{\langle (M, R, (pc, br, dir)), RBRA \text{ off} \rangle \rightarrow_{inst} (M, R, (pc, -(br +_{32} \text{ off} \cdot dir), -dir))}$$

- SWAPBR :

$$\frac{\sigma = (M, R, C)}{\langle (M, R, (pc, br, dir)), SWAPBR \text{ reg}_b \rangle \rightarrow_{inst} (M, R[reg_b \mapsto br], (pc, R(reg_b), dir))}$$

- EXCH
- READ
- SHOW
- EMIT
- START
- FINISH

5 プログラム例

6 まとめ