

第6章 3×3行列積演算を高速化するオリジナル積和演算命令の追加

俺々 RISC-V へのカスタム命令の追加

石原 ひでみ Hidemi Ishihara

RISC-Vではカスタム命令を追加することが可能です。ここでは、3×3の行列積演算処理の中の1つの積和演算を、一度に実行するカスタム命令を追加する手順について解説します。また、同等の演算を通常の四則演算命令だけで実行した場合と、カスタム命令を使って実行した場合の性能の違いをシミュレータを使って比較し、10倍以上高速化できていることを確認します。

FPGA上にソフトマクロCPUを実装して動作させるだけでは、Intel社のNios IIやXilinx社のMicro Blazeが提供されている現状では、それほど魅力的に感じません。

RISC-Vの魅力的な点の1つは、汎用的なCPU命令に加えてカスタム命令を追加できることではないでしょうか(Nios IIもカスタム命令が追加できるようだが)。

ここでは実際にRISC-Vにカスタム命令を追加して、その動作を確認する手順を解説します。

3の行列積演算処理の中の1つの積和演算を、一度に実行するカスタム命令を追加してみます。

実行する計算式は式(1)のようになり、6つのレジスタからzを積和演算する命令になります。

$$z = a \times m + b \times n + c \times p \dots\dots\dots(1)$$

● カスタム命令の仕様

積和演算するために入力レジスタを6個、出力レジスタを1個を使用します。カスタム命令自体を実装することは特に難しくありません。

ただし、追加する積和演算のカスタム命令は、RISC-Vの基本命令(add命令やmul命令など)のように2つのレジスタから1つのレジスタに出力する処理ではなく、6つのレジスタを入力とし、1つのレジスタへ出力する特殊な命令です。1命令(32ビット長)の中では、6つの入力レジスタを表現できないのです。

そこで今回は、6つの入力レジスタは命令の中で表現するのではなく、どのレジスタを使用するかを固定することしました。

1. RISC-Vに追加できるカスタム命令

● RISC-VのOPコードとカスタム命令

RISC-Vでは、表1中に示すcustom0～4の4カ所にカスタム命令を追加することができます。さて、どんな命令を追加しましょうか？

いろいろ考えたのですが、今回は図1のような3×

表1 RISC-VのOPコードとカスタム命令の追加位置

OPコードのビット	OPコード [4:2]								
	000	001	010	011	100	101	110	111	
OPコード [6:5]	00	LOAD	LOAD-FP	custom-0	MISC-MEM	OP-IMM	AUIPC	OP-IMM-32	-
	01	STORE	STORE-FP	custom-1	AMO	OP	LUI	OP-32	-
	10	MADD	MSUB	NMSUB	NMADD	OP-FP	予約	custom-2	-
	11	BRANCH	JALR	予約	JAL	SYSTEM	予約	custom-3	-

$$C = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} \cdot b_{11} + a_{12} \cdot b_{21} + a_{13} \cdot b_{31} & a_{11} \cdot b_{12} + a_{12} \cdot b_{22} + a_{13} \cdot b_{32} & a_{11} \cdot b_{13} + a_{12} \cdot b_{23} + a_{13} \cdot b_{33} \\ a_{21} \cdot b_{11} + a_{22} \cdot b_{21} + a_{23} \cdot b_{31} & a_{21} \cdot b_{12} + a_{22} \cdot b_{22} + a_{23} \cdot b_{32} & a_{21} \cdot b_{13} + a_{22} \cdot b_{23} + a_{23} \cdot b_{33} \\ a_{31} \cdot b_{11} + a_{32} \cdot b_{21} + a_{33} \cdot b_{31} & a_{31} \cdot b_{12} + a_{32} \cdot b_{22} + a_{33} \cdot b_{32} & a_{31} \cdot b_{13} + a_{32} \cdot b_{23} + a_{33} \cdot b_{33} \end{bmatrix}$$

この部分を一度に計算する命令を追加する

図1 3×3行列積演算