

## Problema

En un procesador vectorial con las siguientes características:

- ⤴ Registros con una longitud vectorial máxima de 64 elementos.
- ⤴ Una unidad de suma vectorial con tiempo de arranque de 6 ciclos.
- ⤴ Una unidad de multiplicación con tiempo de arranque de 7 ciclos.
- ⤴ Una unidad de carga/almacenamiento con tiempo de arranque de 12 ciclos.
- ⤴ La frecuencia de trabajo del procesador es 100 MHz.
- ⤴  $T_{base}$  de 10 ciclos y  $T_{bucle}$  de 15 ciclos.

se pretende ejecutar el siguiente código vectorial para un vector con una longitud de 64 elementos:

```

LV      V1, R1
MULTV   V2, V1, V3
MULTSV  V4, V2, F0
SV      R2, V4
  
```

a) Suponiendo que no existe encadenamiento entre las unidades, calcule  $R_{100}$ ,  $T_{100}$  y  $R_{\infty}$ .

b) Una medida habitual del impacto de los costes adicionales es  $N_{1/2}$  que es la longitud del vector necesaria para alcanzar la mitad del valor de  $R_{\infty}$ . Calcule  $N_{1/2}$ .

c) Ahora dispone de encadenamiento entre las unidades funcionales y solapamiento entre convoyes dentro de la misma iteración. ¿Cuál es el nuevo valor de ciclos por elemento?

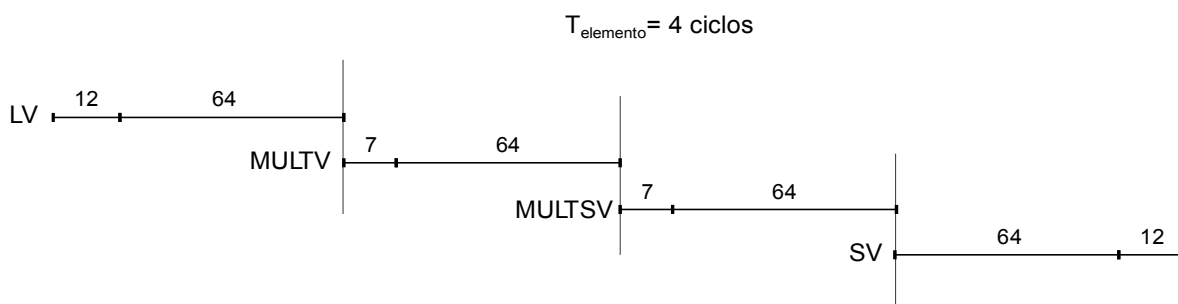
## Solución

a) Analizando los riesgos estructurales se obtiene el siguiente código vectorial:

```

Convoy 1:  LV      V1, R1
Convoy 2:  MULTV   V2, V1, V3
Convoy 3:  MULTSV  V4, V2, F0
Convoy 5:  SV      R2, V4
  
```

La secuencia de ejecución de los cuatro convoyes si se considera que VLR es 64 es la que se muestra en la siguiente figura.



Dado que hay 4 convoyes,  $T_{elemento}$  es 4 ciclos y el  $T_{arranque}$  total es igual a la suma de los tiempos de arranque visibles de los cuatro convoyes. Esto es

$$T_{arranque} = T_{arranque\ LV} + 2 * T_{arranque\ MULTV} + T_{arranque\ SV}$$

$$T_{arranque} = (12 + 2 \cdot 7 + 12) \text{ ciclos} = 38 \text{ ciclos}$$

Sustituyendo los valores conocidos de  $T_{arranque}$  y  $T_{elemento}$  en la expresión que determina el tiempo de ejecución de un bucle vectorizado para vectores de longitud  $n$  se tiene

$$T_n = 10 + \left\lceil \frac{n}{64} \right\rceil \cdot (15 + 38) + 4 \cdot n$$

que para el caso particular de  $n=100$  es

$$T_{100} = 10 + \left\lceil \frac{100}{64} \right\rceil \cdot (15 + 38) + 4 \cdot 100$$

$$T_{100} = 10 + 2 \cdot (15 + 38) + 4 \cdot 100$$

$$T_{100} = 516 \text{ ciclos}$$

$$R_{100} = \frac{2 \cdot 100}{T_{100}} = \frac{200}{516} = 0.3875 \text{ FLOP/ciclo}$$

El  $R_{\infty}$  expresado en FLOP/ciclo es

$$R_{\infty} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left( \frac{2 \cdot n}{T_n} \right)$$

$$R_{\infty} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left( \frac{2 \cdot n}{10 + \left\lceil \frac{n}{64} \right\rceil \cdot (15 + 38) + 4 \cdot n} \right)$$

Para simplificar los cálculos, la expresión  $\left\lceil \frac{n}{64} \right\rceil$  se puede reemplazar por una cota superior dada por  $\left( \frac{n}{64} + 1 \right)$ . Sustituyendo esta cota en  $R_{\infty}$  y teniendo en cuenta que el número de operaciones vectoriales que se realizan es de dos, una multiplicación vectorial y una multiplicación vectorial-escalar, se tiene

$$R_{\infty} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left( \frac{2 \cdot n}{10 + \left( \frac{n}{64} + 1 \right) \cdot (15 + 38) + 4 \cdot n} \right)$$

$$R_{\infty} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left( \frac{2 \cdot n}{63 + 4,828 \cdot n} \right)$$

$$R_{\infty} = 0,41425 \text{ FLOP/ciclo}$$

Para expresar  $R_{\infty}$  en FLOPS, habría que multiplicar el valor en FLOP/ciclo por la frecuencia del procesador. Se tendría así

$$R_{\infty} = 0,41425 \text{ FLOP/ciclo} \cdot (100 \cdot 10^6) \text{ Hz}$$

$$R_{\infty} = 41,425 \text{ MFLOPS}$$

b) Tal y como indica el enunciado,  $N_{1/2}$  es el número de elementos tal que  $R_{N_{1/2}} = \frac{R_{\infty}}{2}$ . Tendremos así:

$$R_{N_{1/2}} = \frac{R_{\infty}}{2} = \frac{0,41425 \text{ FLOP/ciclo}}{2} = 0,207125 \text{ FLOP/ciclo}$$

Por otra parte, sabemos que:

$$R_n = \frac{(\text{Operaciones en coma flotante} \cdot n \text{ elementos})}{T_n}$$

$$R_n = \frac{2 \cdot n}{10 + \left\lceil \frac{n}{64} \right\rceil \cdot (15 + 38) + 4 \cdot n}$$

$$R_n = \frac{2 \cdot n}{10 + \left( \frac{n}{64} + 1 \right) \cdot (15 + 38) + 4 \cdot n}$$

$$R_n = \frac{2 \cdot n}{63 + 4,828 \cdot n}$$

Basta con igualar las expresiones anteriores de  $R_{N_{1/2}}$  y  $R_n$  para obtener el valor de  $n$  que las satisface:

$$\frac{2 \cdot n}{63 + 4,828 \cdot n} = 0,207125 \text{ FLOP/ciclo}$$

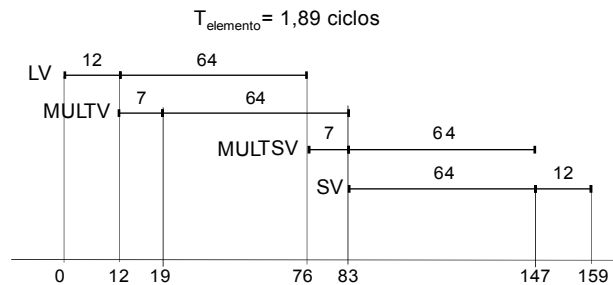
$$n = 13,05$$

Por lo tanto,  $N_{1/2} = 13$ .

c) Para calcular  $T_{\text{elemento}}$  en situaciones con solapamiento hay que recordar que:

$$T_{\text{elemento}} = (T_n - T_{\text{arranque}}) / n$$

Por un lado, tenemos el siguiente diagrama de ejecución:



que nos indica que el tiempo total de ejecución utilizando un VLR de 64 es 159 ciclos.

El tiempo de arranque total visible es:

$$T_{\text{arranque}} = T_{\text{arranque LV}} + 2 \cdot T_{\text{arranque MULTV}} + T_{\text{arranque SV}}$$

$$T_{\text{arranque}} = (12 + 2 \cdot 7 + 12) \text{ ciclos} = 38 \text{ ciclos}$$

Por lo tanto, se tiene:

$$T_{\text{elemento}} = (T_n - T_{\text{arranque}}) / n$$

$$T_{\text{elemento}} = (159 - 38) / 64$$

$$T_{\text{elemento}} = 1,89$$