Guía para el Trabajo Práctico Número 6

Arquitectura de Computadoras 13/05/2026

Problemas Propuestos

2) El siguiente código es utilizado para obtener la suma total de un vector A de 100 elementos:

```
r = A(0);
for(i = 1; i < 100; i++) {
    r = r + A(i)
}
```

   a) Si este programa se ejecuta en un procesador en el que cada suma demora 1 ciclo, calcule cuántos ciclos demorará la ejecución del mismo.
   b) Si se reescribe el código para que se ejecute en dos procesadores como el descrito, ¿cuál será la aceleración obtenida?
   c) Si ahora se reescribe el código para que se ejecute en ocho procesadores como el descrito, ¿cuál será la aceleración obtenida?
   d) ¿Cuál será la máxima aceleración que se pueda obtener? ¿Con cuántos procesadores se alcanza este valor? Saque conclusiones sobre la escalabilidad de la tarea en función del número de procesadores.
   e) Calcule la eficiencia de los multiprocesadores para cada uno de los cuatro casos anteriores.

5) Según el ranking de www.top500.org, la computadora más rápida del mundo a junio de 2023 es la Frontier, ubicada en el Laboratorio Nacional de Oak Ridge, en Estados Unidos. La computadora está compuesta por 72 racks, cada uno con 128 nodos, y donde cada nodo tiene 1 procesador AMD EPYC 7003 junto con 4 aceleradores (procesadores gráficos) AMD Instinct MI250X. Los procesadores EPYC 7003 tienen 64 núcleos, donde cada núcleo tiene una frecuencia de 2 GHz y puede ejecutar hasta 10 instrucciones de punto flotante por ciclo. Los procesadores MI250X tienen 220 núcleos de cómputo, donde cada núcleo tiene una frecuencia de 1,62 GHz y puede ejecutar hasta 128 instrucciones de punto flotante por ciclo.
   a) ¿Cuántos núcleos posee en total esta computadora?
   b) ¿Cuánto es la performance pico de esta computadora, medida en TFLOPS? Para el cálculo considere únicamente a los aceleradores gráficos.
   c) En esta computadora, quiere ejecutarse un benchmark que consiste en realizar un determinado procesamiento a un conjunto de datos, donde cada dato es independiente del resto. Si el procesamiento consiste en 4 operaciones de punto flotante, y la cantidad de datos independientes es de 10^{20}, ¿cuánto tiempo demorará el benchmark en ejecutarse, suponiendo que no hay overhead por sincronización?
   d) Utilizando información del ranking mencionado, ¿cuál es la segunda supercomputadora más rápida del mundo?. ¿Cuánto más rápida es Frontier?
   e) Según el mismo ranking, ¿cuánta energía consumen cada una de estas supercomputadoras? ¿Cuál de las dos es más eficiente, considerando performance por watt?

Soluciones Completas

2)

   a) Para sumar los 100 elementos es necesario realizar 99 sumas, por lo que la ejecución demorará 99 ciclos. Siendo N la cantidad de elementos, la duración podría escribirse como:

$$T_{SERIE} = N - 1$$

   b) Lo que hay que hacer es dividir el vector en dos sub-vectores con la mitad de elementos cada uno, y luego hacer la suma final. Cada procesador necesitará 49 ciclos para calcular los resultados parciales, luego hará falta un ciclo adicional para obtener el resultado final, lo que totaliza 50 ciclos. Siendo P la cantidad de procesadores,la duración podría escribirse como:

$$T_{PARALELO_2} = \frac{N}{P} - 1 + 1$$

   Si calculamos la aceleración respecto al caso inicial tendremos que:

$$A = \frac{T_{SERIE}}{T_{PARALELO_2}} = \frac{99}{50} = 1.98$$

Es decir que la aceleración es casi lineal con respecto a la cantidad de procesadores.

c) En este caso al igual que en el apartado anterior lo primero es dividir el vector en subconjuntos en este caso 8 subconjuntos de datos. Cada subconjunto será procesado por uno de los procesadores y luego será necesario realizar la suma final de los 8 subtotales.
Algunos procesadores tendrán un subconjunto de 12 elementos mientras que otros tendrán un subconjunto de 13 elementos, por lo que podemos asegurar que todos terminan de obtener su resultado parcial luego de 12 ciclos, es decir sumar 13 elementos.
Una vez obtenidos los 8 resultados parciales hay que sumarlos, y para ello se usan los procesadores en un esquema binario. En primer lugar se realizan 4 sumas en paralelo (usando cuatro procesadores) y se obtienen 4 resultados a partir de los 8 subtotales. Luego se suman estos 4 subtotales, usando dos procesadores, y se obtienen 2 resultados. Finalmente en un procesador se obtiene el total definitivo.
Como vemos la suma de los 8 subtotales demora 3 ciclos. Podría generalizarse la cantidad de ciclos empleada en la suma de los subtotales como el logaritmo en base dos de los subtotales a sumar. De esta manera, la duración total es de 15 ciclos y podría escribirse como:

$$T_{PARALELO_8} = RedondearArriba\left(\frac{N}{P}\right) - 1 + log_2(P)$$

Si calculamos la aceleración respecto al tiempo inicial obtenemos que:

$$A = \frac{T_{SERIE}}{T_{PARALELO_8}} = \frac{99}{15} = 6.6$$

Vemos que en este caso el valor de la aceleración deja de ser lineal con respecto a la cantidad de procesadores.

d) Analizando los resultados anteriores, observamos que la ecuación anterior está compuesta por dos términos: uno que es inversamente proporcional a la cantidad de procesadores y otro que es directamente proporcional al logaritmo de este mismo número.
En el primer término, si P se hace muy grande, (N/P) se hace muy pequeño, pero al redondearlo al entero superior igual terminará convirtiéndose en 1. Esto quiere decir que hay un límite a la cantidad de procesadores que pueden aprovechar el paralelismo, y que aumentar la cantidad de procesadores por encima de ese límite no traerá ninguna mejora.
En nuestro caso particular, cada suma requiere dos elementos, por lo que los 100 elementos originales podrán dividirse como máximo en 50 subconjuntos. Si pusiésemos 50 procesadores, la duración total sería:

$$T_{PARALELO_{50}} = RedondearArriba\left(\frac{100}{50}\right) - 1 + RedondearArriba\left(log_2(50)\right) = 2 - 1 + 6 = 7$$

Calculando la aceleración para este caso obtenemos que:

$$A = \frac{T_{SERIE}}{T_{PARALELO_{50}}} = \frac{99}{7} = 14.14$$

Lo que representa la aceleración máxima que puede lograrse sobre el problema inicial.

e) La eficiencia se calcula como la aceleración obtenida dividida en la cantidad de procesadores. Para el caso un único procesador, en el cual la aceleración es obviamente 1, el rendimiento será:

$$E = \frac{1}{1} = 100\,\%$$

Usando dos procesadores la aceleración es prácticamente lineal, con una aceleración A = 1.98 la eficiencia es cercana al 100 %:

$$E = \frac{1.98}{2} = 99\,\%$$

Cuando usamos 8 procesadores la aceleración deja de ser lineal y esto se ve reflejado en una fuerte disminución del rendimiento, con una aceleración A = 6.6 obtenemos:

$$E = \frac{6.6}{8} = 83\,\%$$

Al llevar la cantidad de procesadores al máximo buscando la mayor aceleración posible, es decir A = 14.14, el rendimiento es muy bajo como consecuencia de incrementar al máximo el hardware:

$$E = \frac{14.14}{50} = 28\,\%$$

5)

a) Podemos calcular la cantidad de núcleos como:

$$Nucleos = 72 * 128 * (1 * 64 + 4 * 220) = 9216 * 944 = 8699904$$

b)

$$Performance_{MI250X} = 220 * 128 * 1,62GHz = 45,62\ TFLOPS$$

$$Performance_{Frontier} = 9216 * 4 * Performance_{MI250X} = 36864 * 45,62\ TFLOPS$$

$$Performance_{Frontier} = 1681735,68\ TFLOPS$$

c)

$$T = \frac{4 * 10^{20}}{1681736 * 10^{12}} = \frac{4 * 10^{20}}{16,817 * 10^{17}} = \frac{4000}{16,817} = 237\ segundos \simeq 4\ minutos$$

d) La segunda computadora más rápida es la Fugaku, con 537212 TFLOPS. Para calcular cuanto más rápida es utilizamos el siguiente cálculo:

$$\frac{Performance_{Frontier}}{Performance_{Fugaku}}$$

$$\frac{1681736}{537212} = 3.13 = 213\,\%$$

e) Según la pagina la Frontier consume 22.703 kW y la Fugaku consume 29.899 kW. Para calular la eficiencia, hacemos el cociente de performance y consumo para ambas:

$$Eficiencia_{Frontier} = \frac{Performance_{Frontier}}{Consumo_{Frontier}} = \frac{1681736 * 10^{12}}{22703 * 10^{3}} \simeq 74\ GFlops/W$$

$$Eficiencia_{Fugaku} = \frac{Performance_{Fugaku}}{Consumo_{Fugaku}} = \frac{537212 * 10^{12}}{29899 * 10^{3}} \simeq 18\ GFlops/W$$

Con los cálculos anteriores, podemos ver que Frontier es 4,11 veces más eficiente que Fugaku.