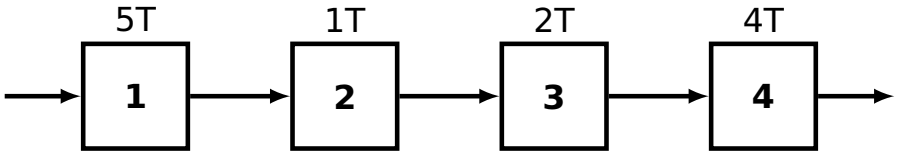
Guía de Solución para el Trabajo Práctico Número 3

Arquitectura de Computadoras 01/04/2026

Problemas Propuestos

5) Para el pipeline de la figura siguiente, el cual posee etapas de distinta duración:



a) Calcule latencia, productividad, aceleración y rendimiento en estado de régimen.
b) Repita el apartado a, pero esta vez considerando que la etapa 1 dura 3T.
c) Repita el apartado a, pero esta vez considerando que la etapa 4 dura 1T.
d) Proponga una mejora para aumentar el rendimiento de la versión original al 100 % en estado de régimen. Calcule los nuevos valores de aceleración y productividad.

10) Considere una máquina con una única ALU que realiza las operaciones de suma, resta, multiplicación y división, y se desea resolver la siguiente ecuación:

$$C = \left(\frac{A}{A+B} * \frac{B}{B+A} \right) - [(A+B) * A]$$

a) Escriba la secuencia de pasos necesarios para la resolución de la ecuación. Las variables pueden reutilizarse, pero solamente podrá utilizar una variable auxiliar.
b) Dibuje el diagrama de precedencia para la ecuación planteada.
c) ¿Cuántas ALU debería colocar como mínimo en paralelo para obtener el menor tiempo de ejecución posible? ¿Cuánto sería la aceleración para ese caso?

Soluciones Completas

5)

a) En este pipeline, la etapa 1 es el cuello de botella (la etapa de mayor duración). En ese caso, lo más conveniente es llevar la duración de todas las etapas a la más larga, para de esa manera tener un **pipeline ideal**. Es decir un pipeline ideal con tiempo de ciclo igual a 5T.
La latencia será la suma de la duración de las distintas etapas, considerando como dijimos anteriormente, que el tiempo de ciclo del pipe es 5T, todas las etapas tendrán esta duración y por lo tanto,

$$Latencia = 20T$$

Del mismo modo tendremos una tarea terminada por cada 5T por lo tanto,

$$Productividad = \frac{1}{5T}$$

El factor de aceleración es la diferencia entre el tiempo de desarrollar la tarea en serie (considerando la duración original de cada etapa) y el tiempo paralelo. Como por cada 5T obtenemos una tarea terminada consideramos que el tiempo paralelo es 5T.

$$Aceleracion = \frac{12T}{5T} = 2,4$$

Al tratar el pipe como un pipeline ideal, todas las etapas tienen la misma duración, pero no todas utilizan en forma productiva este tiempo. Para calcular el rendimiento del pipe consideramos cuanto tiempo es realmente utilizado en cada etapa (es decir la duración original de la misma) sobre el total de tiempo que consume (5T).

$$Rendimiento = \frac{\frac{5}{5} + \frac{1}{5} + \frac{2}{5} + \frac{4}{5}}{4} = \frac{2.4}{4} = 60\,\%$$

Al resultado anterior también podríamos llegar si usáramos la fórmula corta para calcular el rendimiento de un pipeline ideal:

$$Rendimiento = \frac{A}{m} = \frac{2.4}{4} = 60\,\%$$

b) Al modificar la duración de la etapa 1 a 3 T, esto afecta la duración de la etapa más larga, y por lo tanto altera el cuello de botella que será ahora la etapa 4. De esta manera el nuevo tiempo de ciclo será 4T.
Al igual que en los apartados anteriores la latencia la obtenemos teniendo en cuenta que todas las etapas tendrán la duración de la etapa más larga,

$$Latencia = 16T$$

Al bajar el tiempo de ciclo a 4T, ahora la productividad se verá modificada,

$$Productividad = \frac{1}{4T}$$

Al calcular el factor de aceleración observamos que tanto el tiempo serie como el tiempo paralelo se ven modificados,

$$Aceleracion = \frac{10T}{4T} = 2,5$$

El rendimiento será

$$Rendimiento = \frac{A}{m} = \frac{2.5}{4} = 62.5\,\%$$

c) Si ahora en cambio la etapa modificada es la 4 bajando su duración a 1T, esto no afecta la duración de la etapa más larga. Como el tiempo de ciclo del pipe sigue siendo 5T ni la latencia, ni la productividad se verán modificadas.

$$Latencia = 20T \qquad\qquad Productividad = \frac{1}{5T}$$

El factor de aceleración sufrirá alteraciones porque se verá modificado el tiempo serie necesario para realizar la tarea y por lo tanto,

$$Aceleracion = \frac{9T}{5T} = 1,8$$

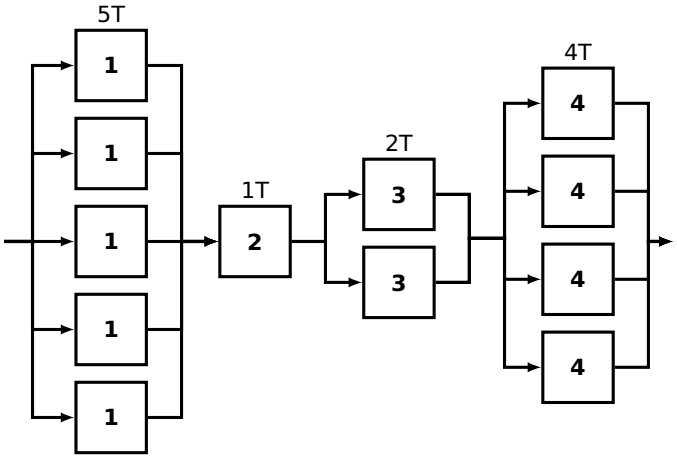
El rendimiento disminuirá porque ahora la etapa 4 está productiva menos tiempo (solamente 1T de los 5T) y por lo tanto podemos calcularlo utilizando la misma fórmula que en los apartados anteriores,

$$Rendimiento = \frac{A}{m} = \frac{1.8}{4} = 45\,\%$$

d) Para llevar el rendimiento al 100 %, debemos poner más etapas en paralelo en las etapas que más demoren. Como la etapa de menor duración demora 1T, y todas las demás son múltiplos de esta duración, la cantidad de etapas a agregar será la duración de cada etapa dividido en 1T. De esta manera lograremos el máximo rendimiento y la máxima productividad en el pipe pero utilizando una gran cantidad de recursos.

$$Productividad = \frac{1}{1T} \qquad\qquad Aceleracion = \frac{12T}{1T} = 12$$

El pipe resultante será similar al que se observa en el siguiente esquema.



10)

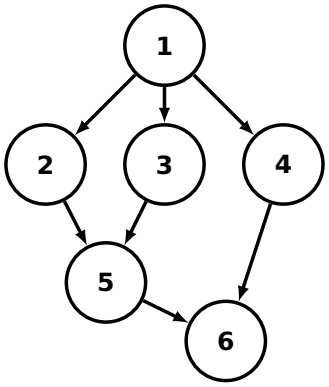
a)

Lo primero que debemos hacer es encontrar la secuencia de pasos óptima para resolver la ecuación utilizando solo una variable auxiliar. Si observamos, la suma A+B se repite 3 veces, por lo que sería conveniente usar una variable adicional X para el almacenamiento de dicha suma. Luego, para realizar las demás operaciones auxiliares podemos hacer uso de variables que no serán usadas nuevamente (como ser en el paso 3, la variable B). Obtenemos entonces la siguiente secuencia que se muestra en la figura adjunta.

```
(1) X ← A + B
(2) C ← A / X
(3) B ← B / X
(4) A ← X * A
(5) C ← C * B
(6) C ← C - A
```

b)

De la secuencia obtenida, en el apartado anterior, se puede notar que las operaciones (2), (3) y (4) dependen de la primera operación. Es importante aclarar que los pasos (4) y (2) no tienen conflicto entre sí, ya que la lectura de los operandos suceden al mismo tiempo en todas las ALUs y posteriormente se ejecutan las operaciones. Entonces, podemos asegurar que los pasos (2), (3) y (4) pueden ser ejecutados al mismo tiempo. Luego notamos que el paso (5) necesita de los resultados de (2) y de (3), y que (6) utiliza los resultados de (4) y (5). De esta manera decantamos en el siguiente diagrama de precedencia:



c) Del enunciado sabemos que cada ALU puede realizar una suma, resta, multiplicación o división por vez, y que cualquiera de estas emplean el mismo tiempo de ejecución. Esta última característica me brinda la posibilidad de ejecutar varias de ellas a la vez. Del diagrama de precedencia podríamos concluir rápidamente que necesitamos 3 ALUs para calcular la ecuación en el menor tiempo posible. Así, se ejecutaría en un paso la operación (1), en el siguiente las (2), (3), y (4) juntas, luego la (5) y finalmente la (6). De esta manera la aceleración del proceso seria:

$$Aceleracion = \frac{Pasos\ con\ una\ ALU}{Pasos\ con\ tres\ ALUs} = \frac{6}{4} = 1,5$$

Pero luego observamos que podríamos ejecutar el operación (4) junto con la (5) obteniendo la misma aceleración, pero optimizando recursos ya que solo necesitaríamos 2 ALUs.

Considerando la siguiente relación costo beneficio

$$\frac{1}{pasos * ALUs}$$

obtenemos que para 3 ALUs la relación es

$$\frac{1}{4 * 3} = 0,0833$$

mientras que para 2 ALUs la relación es

$$\frac{1}{4 * 2} = 0,125$$

Con lo cual podemos afirmar que es mas conveniente emplear la segunda configuración. En el diagrama adjunto podemos visualizar como se ejecutarían las operaciones.

