

#### 4.1. El Factor de rendimiento SpeedUp

También conocido como aceleración, el factor SpeedUp es una medida comparativa del rendimiento de un sistema multiprocesador respecto de un sistema de único procesador [WIL99]. Dicho de otra forma, el factor SpeedUp mide cómo de efectiva resulta ser la paralelización de un programa fuente frente a la versión secuencial del mismo. Para ello es necesario medir los tiempos de ejecución de cada versión y con ellos calcular la relación entre los tiempos de ejecución o SpeedUp, que se define como:

$T_{sec}$  = Tiempo de ejecución del programa secuencial  
 $T_{par}$  = Tiempo de ejecución del programa en paralelo

$$SpeedUp = \frac{T_{sec}}{T_{par}}$$

Para hacer la comparación del tiempo de ejecución de un algoritmo o protocolo de solución paralelo respecto de uno secuencial para un problema dado, se debe utilizar el mejor algoritmo secuencial conocido, es decir, el más rápido que pueda ejecutarse en un solo procesador. El algoritmo utilizado para la implementación paralela suele ser, normalmente lo es, diferente.

Si se tiene en cuenta que la ejecución paralela se ha llevado a cabo con P procesadores, el SpeedUp ideal es obviamente P, y este rendimiento empeora cuanto menor sea el valor que se obtiene en el caso real. Por ejemplo, suponiendo que la ejecución paralela de una aplicación se realiza con 4 procesadores donde  $T_{par}=3hrs.$  y la misma aplicación ejecutándose de forma secuencial tarda  $T_{sec}=8hrs.$ , entonces el SpeedUp ideal calculado es de:

$$SpeedUp = \frac{8h}{3h} = 2.66$$

Pero, ¿cómo de realista es este resultado de SpeedUp? Eso depende. El resultado que se obtiene realmente no se acerca al valor 4, que sería el mejor SpeedUp que se podría encontrar, por lo que quizás no nos parecería aceptable este resultado. Sin embargo, antes de llegar a esta conclusión se deben tener en cuenta otros factores, por ejemplo, el tiempo utilizado en paralelizar el programa, la calidad del código fuente, la naturaleza del algoritmo implementado, la porción del código intrínsecamente secuencial, esto es, no paralelizable del algoritmo. La respuesta acerca de cuál es el

máximo SpeedUp real que se puede alcanzar con la implementación de un determinado algoritmo viene dada por la llamada ley de Amdahl.

#### 4.2. La ley de Amdahl

Si suponemos que podemos tener algunas partes de un programa que son ejecutadas sólo en un procesador, es decir, si suponemos que en todo programa hay una fracción no paralelizable, obtendremos una cota superior al speedUp que como máximo puede alcanzar un programa ejecutándose en paralelo.

Si la fracción del cómputo que no puede ser dividida en tareas concurrentes se denota como  $f$  y el número de procesadores como  $p$ , el factor de speedUp máximo está dado, según la ley de Amdahl, por una cota denotada como  $S(p)$  y definida como sigue:

$$S(p) = \frac{p}{1 + (p-1)f}$$

O de forma equivalente mediante la expresión:

$$S(p) = \frac{1}{f + [(1-f)/p]}$$

Por ejemplo, si se tiene un programa donde la fracción del código paralelo equivale a un 75% y la aplicación se ejecuta usando 4 procesadores, la ley de Amdahl nos dice que con  $p=4$  y  $f=0.25$  la cota superior al SpeedUp del programa ejecutándose en paralelo viene dada por el resultado de evaluar la siguiente expresión:

$$S(4) = \frac{4}{1 + (4-1)0.25} = 2.28$$

O también se puede obtener de la siguiente expresión:

$$S(4) = \frac{1}{0.25 + [(1-0.25)/4]} = 2.28$$

Es decir:  $\text{SpeedUp} \leq S(p)$ .

La fig. I.3. muestra la gráfica de  $S(p)$  con valores de  $p=4,8,12,16$  y  $20$  procesadores y valores para  $f=0, 0.05, 0.10$  y  $0.20$  [WIL99].

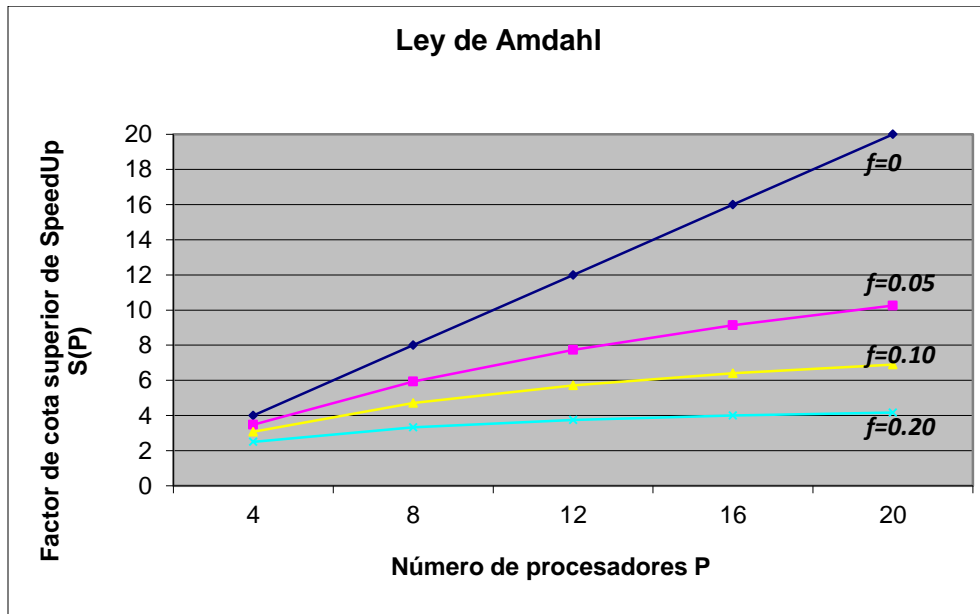


Fig I.3. La ley de Amdahl para varios procesadores y fracciones de código no paralelizado

Se puede observar que el speedUp mejora a medida que se aumenta el número de procesadores. Sin embargo, la fracción del cómputo que es ejecutada por los procesos concurrentes necesita ser una fracción sustancial del cómputo global si se quiere obtener un incremento significativo en la velocidad de ejecución respecto de la versión secuencial del programa. Incluso, con un número infinito de procesadores, el máximo SpeedUp que se puede alcanzar está limitado al valor dado por  $1/f$ , esto es:

$$\lim_{p \rightarrow \infty} S(p) = \frac{1}{f}$$

Por ejemplo, con sólo el 0.05 de cómputo secuencial, el máximo SpeedUp que se puede obtener es de 20, independientemente del número de procesadores utilizados en la ejecución del programa.

La ley de Amdahl finalmente nos dice que no se debe descuidar la optimización del código de la parte del programa que no ha podido ser paralelizada, ya que sino se limitaría la ganancia en tiempo conseguida por la parte que sí pudo serlo.

### 4.3. Ciclos Por Instrucción (CPI)

CPI es una medida utilizada para reflejar la calidad de uso del procesador por parte de un programa. CPI se define como:

$$CPI = \frac{\# \text{ ciclos}}{\# \text{ instrucciones}}$$

En general, si por cada ciclo se ejecuta una instrucción, el CPI que se obtiene es 1, lo cual se considera bueno. Determinado tipo de procesadores (conocidos como superescalares) son capaces de ejecutar más de una instrucción de un programa por ciclo, lo que supone obtener un CPI inferior a 1. Por ejemplo, si se utiliza un procesador capaz de ejecutar hasta 4 instrucciones por ciclo, se podría llegar a conseguir un  $CPI \geq 0.25$ .