Chapter 1

Enunciados de problemas: Introducción

1

Considerar el siguiente fragmento de programa para 2 procesos P_1 y P_2:

Los dos procesos pueden ejecutarse a cualquier velocidad. ¿ Cuáles son los posibles valores resultantes para `x` ?. Suponer que `x` debe ser cargada en un registro para incrementarse y que cada proceso usa un registro diferente para realizar el incremento.

```
{ variables compartidas }
var x : integer := 0 ;
```

```
process P1 ;
   var i : integer ;
begin
   for i := 1 to 2 do begin
      x := x+1 ;
   end
end
```

```
process P2 ;
   var j : integer ;
begin
   for j := 1 to 2 do begin
      x := x+1 ;
   end
end
```

2

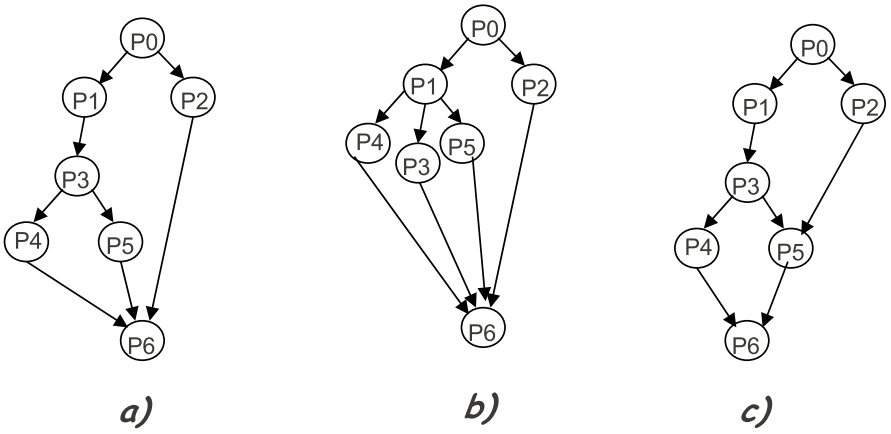
¿ Cómo se podría hacer la copia del fichero `f` en otro `g`, de forma concurrente, utilizando la instrucción concurrente **cobegin-coend** ? . Para ello, suponer que:

- los archivos son secuencia de items de un tipo arbitrario `T`, y se encuentran ya abiertos para lectura (`f`) y escritura (`g`). Para leer un ítem de `f` se usa la llamada a función **leer**`(f)` y para saber si se han leído todos los ítems de `f`, se puede usar la llamada **fin**`(f)` que devuelve verdadero si ha habido al menos un intento de leer cuando ya no quedan datos. Para escribir un dato x en `g` se puede usar la llamada a procedimiento **escribir**`(g,`x`)`.

- El orden de los ítems escritos en `g` debe coincidir con el de `f`.
- Dos accesos a dos archivos distintos pueden solaparse en el tiempo.

3

Construir, utilizando las instrucciones concurrentes **cobegin–coend** y **fork–join**, programas concurrentes que se correspondan con los grafos de precedencia que se muestran a continuación:



4

Dados los siguientes fragmentos de programas concurrentes, obtener sus grafos de precedencia asociados:

```
begin
   P0 ;
   cobegin
      P1 ;
      P2 ;
      cobegin
         P3 ; P4 ; P5 ; P6 ;
      coend
      P7 ;
   coend
   P8;
end
```

```
begin
   P0 ;
   cobegin
      begin
        cobegin
          P1;P2;
        coend
       P5;
      end
      begin
        cobegin
          P3;P4;
        coend
       P6;
      end
   coend
   P7 ;
end
```

5

Suponer un sistema de tiempo real que dispone de un captador de impulsos conectado a un contador de energía eléctrica. La función del sistema consiste en contar el número de impulsos producidos en 1 hora (cada *Kwh* consumido se cuenta como un impulso) e imprimir este número en un dispositivo de salida.

Para ello se dispone de un programa concurrente con 2 procesos: un proceso acumulador (lleva la cuenta de los impulsos recibidos) y un proceso escritor (escribe en la impresora). En la variable común a los 2 procesos `n` se lleva la cuenta de los impulsos. El proceso acumulador puede invocar un procedimiento `Espera_impulso` para esperar a que llegue un impulso, y el proceso escritor puede llamar a `Espera_fin_hora` para esperar a que termine una hora.

El código de los procesos de este programa podría ser el siguiente:

```
{ variable compartida: }
var n : integer; { contabiliza impulsos }
```

```
process Acumulador ;
begin
   while true do begin
      Espera_impulso();
      < n := n+1 > ; { (1) }
   end
end
```

```
process Escritor ;
begin
   while true do begin
      Espera_fin_hora();
      write( n ) ;    { (2) }
      < n := 0 > ;    { (3) }
   end
end
```

En el programa se usan sentencias de acceso a la variable `n` encerradas entre los símbolos < y >. Esto significa que cada una de esas sentencias se ejecuta en exclusión mutua entre los dos procesos, es decir, esas sentencias se ejecutan de principio a fin sin entremezclarse entre ellas.

Supongamos que en un instante dado el acumulador está esperando un impulso, el escritor está esperando el fin de una hora, y la variable `n` vale k. Después se produce de forma simultánea un nuevo impulso y el fin del periódo de una hora. Obtener las posibles secuencias de interfolicación de las instrucciones (1),(2), y (3) a partir de dicho instante, e indicar cuales de ellas son correctas y cuales incorrectas (las incorrectas son aquellas en las cuales el impulso no se contabiliza).

6

Supongamos un programa concurrente en el cual hay, en memoria compartida dos vectores `a` y `b` de enteros y con tamaño par, declarados como sigue:

```
var a,b : array[1..2*n] of integer ; { n es una constante predefinida }
```

Queremos escribir un programa para obtener en `b` una copia ordenada del contenido de `a` (nos da igual el estado en que queda `a` después de obtener `b`).

Para ello disponemos de la función **Sort** que ordena un tramo de a (entre las entradas s y t, ambas incluidas). También disponemos la función Copiar, que copia un tramo de a (desde s hasta t) en b (a partir de o)

```
procedure Sort( s,t : integer );
   var i, j : integer ;
begin
  for i := s to t do
     for j:= s+1 to t do
        if a[i] < a[j] then
           swap( a[i], b[j] ) ;
end
```

```
procedure Copiar( o,s,t : integer );
   var d : integer ;
begin
   for d := 0 to t-s do
      b[o+d] := a[s+d] ;
end
```

El programa para ordenar se puede implementar de dos formas:

- Ordenar todo el vector a, de forma secuencial con la función **Sort**, y después copiar cada entrada de a en b, con la función Copiar.
- Ordenar las dos mitades de a de forma concurrente, y después mezclar dichas dos mitades en un segundo vector b (para mezclar usamos un procedimiento **Merge**).

A continuación vemos el código de ambas versiones:

```
procedure Secuencial() ;
   var i : integer ;
begin
   Sort( 1, 2*n );    { ordena a    }
   Copiar( 1, 2*n ); { copia a en b }
end
```

```
procedure Concurrente() ;
begin
  cobegin
     Sort( 1,   n   );
     Sort( n+1, 2*n );
  coend
  Merge( 1, n+1, 2*n );
end
```

El código de **Merge** se encarga de ir leyendo las dos mitades de a, en cada paso, seleccionar el menor elemento de los dos siguientes por leer (uno en cada mitad), y escribir dicho menor elemento en la siguiente mitad del vector mezclado b. El código es el siguiente:

```
procedure Merge( inferior, medio, superior: integer ) ;
   var escribir : integer := 1 ;          { siguiente posicion a escribir en b       }
   var leer1    : integer := inferior ; { siguiente pos. a leer en primera mitad de a }
   var leer2    : integer := medio    ; { siguiente pos. a leer en segunda mitad de a }
begin
   { mientras no haya terminado con alguna mitad }
   while leer1 < medio and leer2 <= superior do begin
      if a[leer1] < a[leer2] then begin { minimo en la primera mitad }
         b[escribir] := a[leer1] ;
         leer1 := leer1 + 1 ;
      end else begin { minimo en la segunda mitad }
         b[escribir] := a[leer2] ;
         leer2 := leer2 + 1 ;
      end
      escribir := escribir+1 ;
   end
   { se ha terminado de copiar una de las mitades, copiar lo que quede de la otra }
   if leer2 > superior then Copiar( escribir, leer1, medio-1  ); { copiar primera }
                       else Copiar( escribir, leer2, superior ); { copiar segunda }
end
```

Llamaremos $T_s(k)$ al tiempo que tarda el procedimiento **Sort** cuando actua sobre un segmento del vector con k entradas. Suponemos que el tiempo que (en media) tarda cada iteración del bucle interno que hay en **Sort** es la unidad (por definición). Es evidente que ese bucle tiene $k(k-1)/2$ iteraciones, luego:

$$T_s(k) \;=\; \frac{k(k-1)}{2} \;=\; \frac{1}{2}k^2 - \frac{1}{2}k$$

El tiempo que tarda la versión secuencial sobre $2n$ elementos (llamaremos S a dicho tiempo) será evidentemente $T_s(2n)$, luego

$$S \;=\; T_s(2n) \;=\; \frac{1}{2}(2n)^2 - \frac{1}{2}(2n) \;=\; 2n^2 - n$$

con estas definiciones, calcula el tiempo que tardará la versión paralela, en dos casos:

(1) Las dos instancias concurrentes de **Sort** se ejecutan en el mismo procesador (llamamos P_1 al tiempo que tarda).

(2) Cada instancia de **Sort** se ejecuta en un procesador distinto (lo llamamos P_2)

escribe una comparación cualitativa de los tres tiempos (S,P_1 y P_2).

Para esto, hay que suponer que cuando el procedimiento **Merge** actua sobre un vector con p entradas, tarda p unidades de tiempo en ello, lo cual es razonable teniendo en cuenta que en esas circunstancias **Merge** copia p valores desde `a` hacia `b`. Si llamamos a este tiempo $T_m(p)$, podemos escribir

$$T_m(p) \;=\; p$$

.

7

Supongamos que tenemos un programa con tres matrices (a,b y c) de valores flotantes declaradas como variables globales. La multiplicación secuencial de a y b (almacenando el resultado en c) se puede hacer mediante un procedimiento **MultiplicacionSec** declarado como aparece aquí:

```
var a, b, c : array[1..3,1..3] of real ;

procedure MultiplicacionSec()
   var i,j,k : integer ;
begin
   for i := 1 to 3 do
      for j := 1 to 3 do begin
         c[i,j] := 0 ;
         for k := 1 to 3 do
            c[i,j] := c[i,j] + a[i,k]*b[k,j] ;
      end
end
```

Escribir un programa con el mismo fin, pero que use 3 procesos concurrentes. Suponer que los elementos de las matrices a y b se pueden leer simultáneamente, así como que elementos distintos de c pueden escribirse simultáneamente.

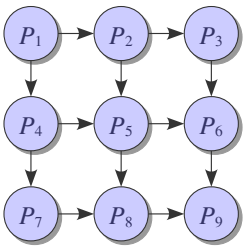
8

Un trozo de programa ejecuta nueve rutinas o actividades ($P_1, P_2, \ldots, P_9$), repetidas veces, de forma concurrentemente con **cobegin coend** (ver la figura de la izquierda), pero que requieren sincronizarse según determinado grafo (ver la figura de la derecha):

Trozo de programa:

```
while true do
cobegin
   P1 ; P2 ; P3 ;
   P4 ; P5 ; P6 ;
   P7 ; P8 ; P9 ;
coend
```

Grafo de sincronización:



Supón que queremos realizar la sincronización indicada en el grafo, usando para ello llamadas desde cada rutina a dos procedimientos (**EsperarPor** y **Acabar**). Se dan los siguientes hechos:

- El procedimiento **`EsperarPor`**`(i)` es llamado por una rutina cualquiera (la número `k`) para esperar a que termine la rutina número `i`, usando espera ocupada. Por tanto, se usa por la rutina `k` al inicio para esperar la terminación de las otras rutinas que corresponda según el grafo.
- El procedimiento **`Acabar`**`(i)` es llamado por la rutina número `i`, al final de la misma, para indicar que dicha rutina ya ha finalizado.
- Ambos procedimientos pueden acceder a variables globales en memoria compartida.
- Las rutinas se sincronizan única y exclusivamente mediante llamadas a estos procedimientos, siendo la implementación de los mismos completamente transparente para las rutinas.

Escribe una implementación de **`EsperarPor`** y **`Acabar`** (junto con la declaración e inicialización de las variables compartidas necesarias) que cumpla con los requisitos dados.