Programación Concurrente

Clase 1

Facultad de Informática
UNLP

Metodología del curso

- **Horarios:**
  - Teorías: lunes de 8 a 11 (aula 5) ó jueves de 13 a 16 (aula 4)
  - Prácticas: lunes de 11 a 14 hs. (aula 1.4), martes de 8 a 11 (aula 3), jueves de 17 a 20 hs. (aula 4) y sábado de 9 a 12 (aula 1).
- **Cursada:**
  - La cursada se aprueba con un parcial práctico con dos temas independientes que cuenta con dos recuperatorios. La primera fecha se encuentra distribuida.
- **Promoción de final:**
  - Rendir 2 parcialitos teóricos (en la primera fecha de cada tema del parcial práctico).
  - Un examen teórico (al terminar la cursada). Se aprueba con nota mayor o igual 6, y tienen hasta la mesa de febrero de 2027 para inscribirse en una mesa de final.
    - Si la nota del examen fuese mayor o igual a 4 y menor que 6, no tienen la promoción, pero pueden solicitar la realización de un trabajo (y su posterior defensa).
- **Final:** examen teórico - práctico.

Metodología del curso

- **Comunicación:** Plataforma IDEAS (ideas.info.unlp.edu.ar).
  - Solicitar inscripción.

- **Bibliografía / material:**
  - ***Libro base:*** Foundations of Multithreaded, Parallel, and Distributed Programming. Gregory Andrews. Addison Wesley. (www.cs.arizona.edu/people/greg/mpdbook).
  - Material de lectura adicional: bibliografía, web.
    - Principles of Concurrent and Distributed Programming, 2/E. Ben-Ari. Addison-Wesley
    - An Introduction to Parallel Computing. Design and Analysis of Algorithms, 2/E. Grama, Gupta, Karypis, Kumar. Pearson Addison Wesley.
    - The little book of semaphores. Downey. http://www.cs.ucr.edu/~kishore/papers/semaphores.pdf.
  - Planteo de temas/ejercicios (recomendado hacerlos).

Temas del curso

- **Conceptos básicos.** Concurrencia y arquitecturas de procesamiento. Multithreading, Procesamiento Distribuido, Procesamiento Paralelo.
- **Concurrencia por memoria compartida.** Procesos y sincronización. Locks y Barreras. Semáforos. Monitores. Resolución de problemas concurrentes con sincronización por MC.
- **Concurrencia por pasaje de mensajes (MP).** Mensajes asincrónicos. Mensajes sincrónicos. Remote Procedure Call (RPC). Rendezvous. Paradigmas de interacción entre procesos.
- **Lenguajes que soportan concurrencia.** Características. Similitudes y diferencias.
- **Introducción a la programación paralela.** Conceptos, herramientas de desarrollo, aplicaciones.

Introducción

Concurrencia

¿Que es?

- Concurrencia es la capacidad de ejecutar múltiples actividades en paralelo o simultáneamente.
- Permite a distintos objetos actuar al mismo tiempo.
- Factor relevante para el diseño de hardware, sistemas operativos, multiprocesadores, computación distribuida, programación y diseño.

¿Donde está?

- Navegador Web accediendo una página mientras atiende al usuario.
- Varios navegadores accediendo a la misma página.
- Acceso a disco mientras otras aplicaciones siguen funcionando.
- Impresión de un documento mientras se consulta.
- El teléfono avisa recepción de llamada mientras se habla.
- Varios usuarios conectados al mismo sistema (reserva de pasajes).
- Cualquier objeto más o menos “inteligente” exhibe concurrencia.
- Juegos, automóviles, etc.

¿Por qué es necesaria la concurrencia?

- Aplicaciones con estructura más natural (si los problemas son concurrentes, es más natural resolverlos de forma concurrente).
- No hay más ciclos de reloj → Multicore → ¿cómo aprovecharlo?
- Mejora en la respuesta – mejora el rendimiento
- Sistemas distribuidos

Concurrencia “natural”

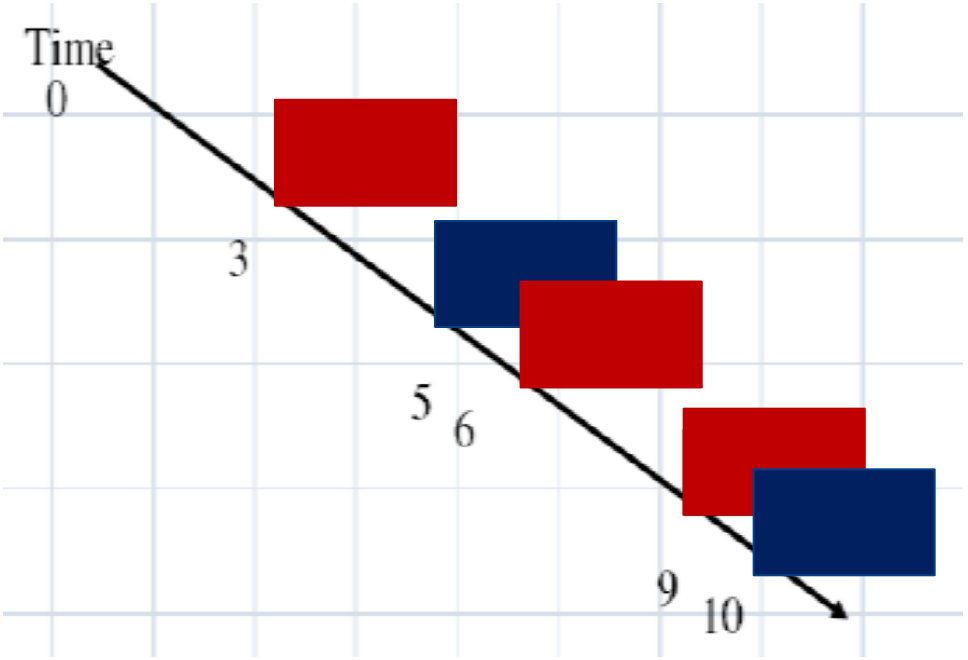
- **Problema:** Desplegar cada 3 segundos un cartel ROJO.

- **Solución secuencial:**

Programa Cartel
Mientras (true)
Demorar (3 seg)
Desplegar cartel
Fin mientras
Fin programa

Concurrencia “natural”

- **Problema:** Desplegar cada 3 segundos un cartel ROJO y cada 5 segundos un cartel AZUL.



Concurrencia “natural”

```
Programa Carteles
    Proximo_Rojo = 3
    Proximo_Azul = 5
    Actual = 0
    Mientras (true)
        Si (Proximo_Rojo < Proximo_Azul)
                Demorar (Proximo_Rojo – Actual)
                Desplegar cartel ROJO
                Actual = Proximo_Rojo
                Proximo_Rojo = Proximo_Rojo +3
        sino
                Demorar (Proximo_Azul – Actual)
                Desplegar cartel AZUL
                Actual = Proximo_Azul
                Proximo_Azul = Proximo_Azul +5
     Fin mientras
Fin programa
```

Concurrencia "natural"

- Obliga a establecer un orden en el despliegue de cada cartel.
- Código más complejo de desarrollar y mantener.
- ¿Que pasa si se tienen más de dos carteles?
- ***Más natural:*** cada cartel es un elemento independiente que actúa concurrentemente con otros → ***es decir, ejecutar dos o más algoritmos simples concurrentemente***.

```
Programa Cartel (color, tiempo)
        Mientras (true)
                Demorar (tiempo  segundos)
                Desplegar cartel (color)
        Fin mientras
Fin programa
```

- No hay un orden preestablecido en la ejecución ⇒ ***no determinismo*** (ejecuciones con la misma "entrada" puede generar diferentes "salidas")

Procesamiento secuencial, concurrente y paralelo

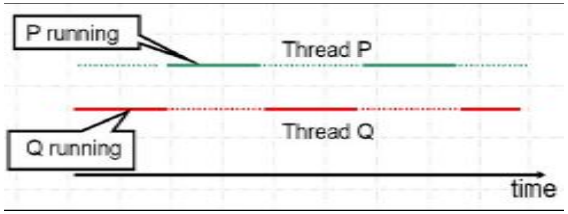
Supongamos que tenemos una unidad de procesamiento (core) para realizar *N* tareas.

Puede trabajar de acuerdo a dos enfoques diferentes:

- **Solución secuencial:** hace las tareas de a una a la vez, hasta no terminar una no se puede comenzar el siguiente. La solución secuencial nos fuerza a establecer un estricto orden temporal.

- **Solución concurrente (y no paralela):** dedica una parte del tiempo a cada tarea, aprovechando tiempos ociosos en la realización de cada uno de ellas ⇒ Concurrencia sin paralelismo de hardware.

  Dificultades ⇒
  - Distribución de carga de trabajo.
  - Necesidad de compartir recursos.
  - Necesidad de esperarse en puntos clave.
  - Necesidad de comunicarse.
  - Necesidad de recuperar el "estado" de cada proceso al retomarlo.



Procesamiento secuencial, concurrente y paralelo

Supongamos que tenemos *N* unidades de procesamiento (cores) para hacer las mismas *N* tareas.

- **Solución paralela (además es concurrente):** todos los cores trabajan al mismo tiempo haciendo cada uno una única tarea ⇒ Concurrencia con paralelismo de hardware. Sigue siendo concurrente, pero además es paralelo.

  Consecuencias ⇒
  - Menor tiempo para completar el trabajo.
  - Menor esfuerzo individual.
  - Paralelismo del hardware.

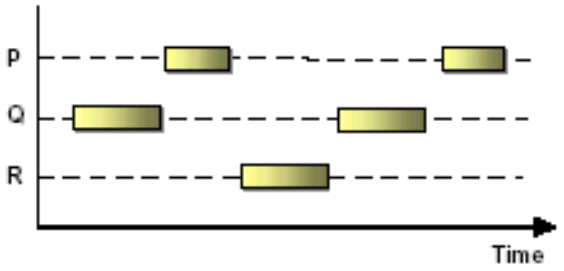
  Dificultades ⇒
  - Distribución de la carga de trabajo (en relación con la arquitectura y el trabajo)
  - Necesidad de compartir recursos evitando conflictos.
  - Necesidad de esperarse en puntos clave.
  - Necesidad de comunicarse.
  - Tratamiento de las fallas.

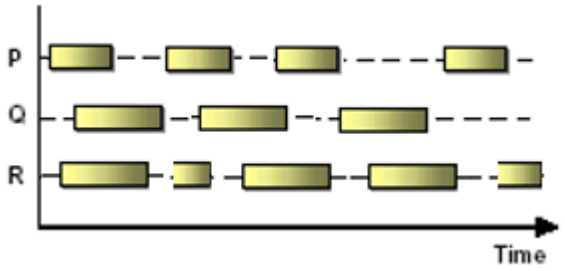
CONCURRENCIA ⇒ Concepto de software no restringido a una arquitectura particular de hardware ni a un número determinado de procesadores.

Programa Concurrente

- Por ahora llamaremos *"**Proceso**"* a elemento computacional que ejecuta un único flujo de control en forma secuencial: ejecuta una instrucción y cuando esta finaliza ejecuta la siguiente.

- **Programa Concurrente:** múltiples procesos que trabajan "simultáneamente" para resolver un mismo problema y/o utilizar recursos compartidos.





Programa Concurrente

- Un programa concurrente puede tener ***N procesos*** habilitados para ejecutarse concurrentemente y un ***sistema concurrente*** puede disponer de ***M unidades de procesamiento (M ≥ 1)*** cada uno de los cuales puede ejecutar uno o más procesos.
- Cuando hay más de una unidad de procesamiento ***(M > 1)*** además de ***Sistema Concurrente*** es un ***Sistema Paralelo.***
- Cuando hay sólo UNA unidad de procesamiento ***(M = 1)*** es un ***Sistema Concurrente*** pero NO un ***Sistema Paralelo.***
  - El tiempo de CPU es compartido entre varios procesos, por ejemplo, por ***time slicing***.
  - El sistema operativo controla y planifica procesos: si el slice expiró o el proceso se bloquea el sistema operativo hace ***context (process) switch***.

Posibles comportamientos de los procesos

Múltiples procesos trabajando "simultáneamente" pueden actuar de forma independiente, cooperar y/o competir entre ellos.

Procesos independientes

- Relativamente raros.
- Poco interesante.

Competencia

- Típico en Sistemas Operativos y Redes.
- Compiten por el uso de recursos compartidos.

Cooperación

- Los procesos colaboran para resolver una tarea común.
- Sincronización y comunicación.

Objetivos de los sistemas concurrentes

***Ajustar el modelo* de arquitectura de hardware y software al problema del mundo real a resolver.**

***Incrementar la performance*, mejorando los tiempos de respuesta de los sistemas de cómputo, a través de un enfoque diferente de la arquitectura física y lógica de las soluciones.**

Algunas ventajas ⇒

- La velocidad de ejecución que se puede alcanzar.
- Mejor utilización de la CPU de cada procesador.
- Explotación de la concurrencia inherente a la mayoría de los problemas reales.

Diferencia entre procesos e hilos

- ***Procesos:*** Cada proceso tiene su propio espacio de direcciones y recursos.

- ***Procesos livianos, threads o hilos:***
  - Proceso "liviano" que tiene su propio contador de programa y su pila de ejecución, pero no controla el "contexto pesado" (por ejemplo, las tablas de página).
  - Todos los hilos de un proceso comparten el mismo espacio de direcciones y recursos (los del proceso).
  - El programador o el lenguaje deben proporcionar mecanismos para evitar interferencias.
  - La concurrencia puede estar provista por el lenguaje (Java) o por el Sistema Operativo (C/POSIX).

Conceptos básicos de concurrencia

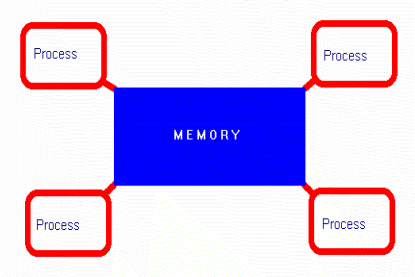
Conceptos básicos de concurrencia
Comunicación entre procesos

La comunicación entre procesos concurrentes indica el modo en que se organizan y trasmiten datos entre tareas concurrentes. Esta organización requiere especificar ***protocolos*** para controlar el progreso y la corrección. Los procesos se **COMUNICAN**:

- Por *Memoria Compartida.*
- Por *Pasaje de Mensajes.*

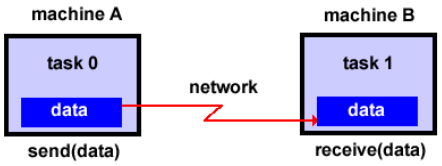
- **Memoria compartida**

  Los procesos intercambian información sobre la memoria compartida o actúan coordinadamente sobre datos residentes en ella. Se debe asegurar de no operar simultáneamente sobre la memoria compartida.



- **Pasaje de mensajes**

  Es necesario establecer un canal (lógico o físico) para transmitir información entre procesos. Se debe tener un protocolo adecuado. Para que la comunicación sea efectiva los procesos deben "saber" cuándo tienen mensajes para leer y cuando deben trasmitir mensajes.



Conceptos básicos de concurrencia
Sincronización entre procesos

La **sincronización** es la posesión de información acerca de otro proceso para coordinar actividades. Los procesos se sincronizan:

- Por *exclusión mutua.*
- Por *condición.*

- **Sincronización por exclusión mutua**
  - Asegurar que sólo un proceso tenga acceso a un recurso compartido en un instante de tiempo.
  - Si el programa tiene ***secciones críticas*** que pueden compartir más de un proceso, la exclusión mutua evita que dos o más procesos puedan encontrarse en la misma sección crítica al mismo tiempo.
- **Sincronización por condición**
  - Permite bloquear la ejecución de un proceso hasta que se cumpla una condición dada.

Conceptos básicos de concurrencia

Interferencia

***Interferencia*:** un proceso toma una acción que invalida las suposiciones hechas por otro proceso.

Ejemplo 1: nunca se debería dividir por 0.

```
int x, y, z;

process A1
  { ….
    y = 0;
    ….
  }

process A2
  { …..
    if (y <> 0)   z = x/y;
    ……
  }
```

Ejemplo 2: siempre *Público* debería terminar con valor igual a *E1+E2* .

```
int Público = 0
process B1
  { int E1 = 0;
    for i= 1..100
      {  esperar llegada
        E1 = E1 + 1;
        Público = Público + 1;
      }
  }
process B2
  { int E2 = 0;
    for i= 1..100
      {  esperar llegada
        E2 = E2 + 1;
        Público = Público + 1;
      }
  }
```

Conceptos básicos de concurrencia

Manejo de los recursos

Uno de los temas principales de la programación concurrente es la administración de recursos compartidos:

- Esto incluye la asignación de recursos compartidos, métodos de acceso a los recursos, bloqueo y liberación de recursos, seguridad y consistencia.
- Una propiedad deseable en sistemas concurrentes es el equilibrio en el acceso a recursos compartidos por todos los procesos (***fairness***).
- Dos situaciones NO deseadas en los programas concurrentes son la ***inanición*** de un proceso (no logra acceder a los recursos compartidos) y el ***overloading*** de un proceso (la carga asignada excede su capacidad de procesamiento).
- Otro problema importante que se debe evitar es el ***deadlock***.

Conceptos básicos de concurrencia

Problema de deadlock

Dos (o más) procesos pueden entrar en ***deadlock***, si por error de programación ambos se quedan esperando que el otro libere un recurso compartido. La ausencia de deadlock es una propiedad necesaria en los procesos concurrentes.

Conceptos básicos de concurrencia
Requerimientos para un lenguaje concurrente

Independientemente del mecanismo de comunicación / sincronización entre procesos, los **lenguajes de programación concurrente** deberán proveer primitivas adecuadas para la especificación e implementación de las mismas.

- **Requerimientos de un lenguaje de programación concurrente:**
  - Indicar las tareas o procesos que pueden ejecutarse concurrentemente.
  - Mecanismos de sincronización.
  - Mecanismos de comunicación entre los procesos.

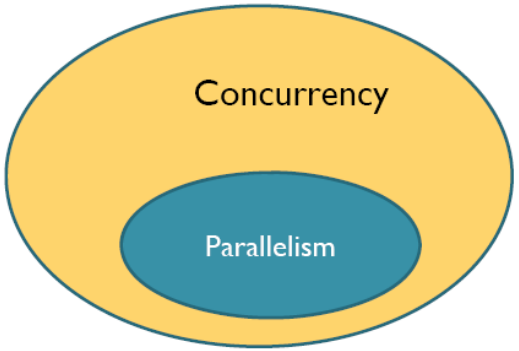
Problemas asociados con la Programación Concurrente

- Los procesos no son independientes y comparten recursos. La necesidad de utilizar mecanismos de exclusión mutua y/o sincronización agrega complejidad a los programas.
- Hay un no determinismo implícito en el interleaving de procesos concurrentes. Esto significa que dos ejecuciones del mismo programa no necesariamente son idénticas ⇒ ***dificultad para la interpretación y debug.***
- Posible reducción de performance por overhead de context switch, comunicación, sincronización, ...
- Mayor tiempo de desarrollo y puesta a punto. Difícil paralelizar algoritmos secuenciales.
- Necesidad de adaptar el software concurrente al hardware paralelo para mejora real en el rendimiento.

Conceptos básicos de concurrencia
Concurrencia y Paralelismo

CONCURRENCIA ⇒ Concepto de software no restringido a una arquitectura particular de hardware ni a un número determinado de procesadores.
Especificar la concurrencia implica especificar los ***procesos concurrentes***, su ***comunicación*** y su ***sincronización***.

PARALELISMO ⇒ Se asocia con la ejecución concurrente en múltiples procesadores con el objetivo principal de reducir el tiempo de ejecución.



Clases de Instrucciones

Clases de instrucciones

Programación secuencial y concurrente

Un programa concurrente está formado por un conjunto de "procesos" secuenciales.

- La programación secuencial estructurada puede expresarse con 3 clases de instrucciones básicas: **asignación**, **alternativa** (decisión) e **iteración** (repetición con condición).

- Se requiere una clase de instrucción para representar la concurrencia.

Además de las habituales estructuras de control y asignación, utilizaremos algunas instrucciones y estructuras de control particulares para trabajar con programación concurrente.

Clases de instrucciones

Programación secuencial y concurrente

skip: termina inmediatamente y no tiene efecto sobre ninguna variable de programa.

Sentencias de alternativa múltiple:

if B1 → S1
□ B2 → S2
.....
□ Bn → Sn
fi

Elección no determinística.
Si ninguna guarda es verdadera el *if* no tiene efecto.

Sentencias de alternativa ITERATIVA múltiple:

do B1 → S1
□ B2 → S2
.....
□ Bn → Sn
od

Las sentencias guardadas son evaluadas y ejecutadas hasta que todas las guardas sean falsas.
La elección es no determinística si más de una guarda es verdadera.

Clases de instrucciones

Programación secuencial y concurrente

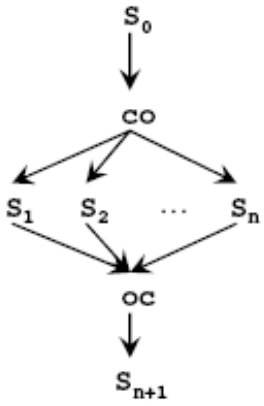
CONCURRENCIA

- Sentencia ***co***:

  co S1 // ..... // Sn oc → Ejecuta las *Si* tareas concurrentemente. La ejecución del *co* termina cuando todas las tareas terminaron.

  Cuantificadores.

  co [i=1 to n] { a[i]=0; b[i]=0 } oc → Crea *n* tareas concurrentes.



- ***Process:*** otra forma de representar concurrencia

  process A {sentencias} → proceso único independiente.

  Cuantificadores.

  process B [i=1 to n] {sentencias} → *n* procesos independientes.

- **Diferencia:** ***process*** ejecuta en ***background***, mientras el código que contiene un ***co*** espera a que el proceso creado por la sentencia ***co*** termine antes de ejecutar la siguiente sentencia.

Clases de instrucciones

Programación secuencial y concurrente

Ejemplo: ¿qué imprime en cada caso? ¿son equivalentes?

```
process imprime10
    {
        for [i=1 to 10]  write(i);
    }
```

```
process imprime1 [i= 1..10]
    {
        write(i);
    }
```

No determinismo….

Acciones Atómicas y Sincronización

Acciones atómicas

- ***Estado*** de un programa concurrente.
- *Una* ***acción atómica*** hace una transformación de estado indivisibles (estados intermedios invisibles para otros procesos).
- Cada proceso ejecuta un conjunto de sentencias, cada una implementada por una o más acciones atómicas.
- Ejecución de un programa concurrente → ***intercalado*** (*interleaving*) de las acciones atómicas ejecutadas por procesos individuales.
- ***Historia*** de un programa concurrente.
- Hay Acciones Atómicas de grano fino y de grano grueso.

Atomicidad de grano fino

- Algunas historias son válidas y otras no. La ***interacción*** entre procesos determina cuales son correctas.

```
int buffer;
process 1
  { int x
    while (true)
       p1.1: read(x);
       p1.2: buffer = x;
  }
```

```
process 2
  { int y;
    while (true)
       p2.1: y = buffer;
       p2.2: print(y);
  }
```

Posibles historias:

p11, p12, p21, p22, p11, p12, p21, p22, ... ☑
p11, p12, p21, p11, p22, p12, p21, p22, ... ☑
p11, p21, p12, p22, ... ☒
p21, p11, p12, ... ☒

La sincronización por condición permite restringir las historias de un programa concurrente para asegurar el orden temporal necesario.

Atomicidad de grano fino

Una acción atómica de ***grano fino*** (fine grained) se debe implementar por hardware.

- ¿La operación de asignación A=B es atómica?

  NO $\Rightarrow$ (i) Load PosMemB, reg
  (ii) Store reg, PosMemA

- ¿Qué sucede con algo del tipo X=X+X?

  (i) Load PosMemX, Acumulador
  (ii) Add PosMemX, Acumulador
  (iii) Store Acumulador, PosMemX

Atomicidad de grano fino

Ejemplo 1: Cuáles son los posibles resultados con 3 procesadores. La lectura y escritura de las variables x, y, z son atómicas.

```
x = 0; y = 4; z=2;
co
  x = y + z        (1)
  // y = 3         (2)
  // z = 4         (3)
oc
```

(1) Puede descomponerse por ejemplo en:

(1.1) Load PosMemY, Acumulador
(1.2) Add PosMemZ, Acumulador
(1.3) Store Acumulador, PosMemX

(2) Se transforma en: Store 3, PosMemY

(3) Se transforma en: Store 4, PosMemZ

- y = 3, z = 4 en todos los casos.
- x puede ser:
  - 6 si ejecuta (1)(2)(3) o (1)(3)(2)
  - 5 si ejecuta (2)(1)(3)
  - 8 si ejecuta (3)(1)(2)
  - 7 si ejecuta (2)(3)(1) o (3)(2)(1)
  - 6 si ejecuta (1.1)(2)(1.2)(1.3)(3)
  - 8 si ejecuta (1.1)(3)(1.2)(1.3)(2)
  - .....

Atomicidad de grano fino

Ejemplo 2: Cuáles son los posibles resultados con 2 procesadores. La lectura y escritura de las variables x, y, z son atómicas.

```
x = 2; y = 2;
co
  z = x + y          (1)
  // x = 3; y = 4;   (2)
oc
```

(1) Puede descomponerse por ejemplo en:

(1.1) Load PosMemX, Acumulador
(1.2) Add PosMemY, Acumulador
(1.3) Store Acumulador, PosMemZ

(2) Se transforma en:

(2.1) Store 3, PosMemX
(2.2) Store 4, PosMemY

x = 3, y = 4 en todos los casos.
z puede ser: 4, 5, 6 o 7.

Nunca podría parar el programa y ver un estado en que x+y = 6, a pesar de que z = x + y si puede tomar ese valor

Atomicidad de grano fino

En lo que sigue, supondremos máquinas con las siguientes características:

- Los valores de los tipos básicos se almacenan en elementos de memoria leídos y escritos como acciones atómicas.
- Los valores se cargan en registros, se opera sobre ellos, y luego se almacenan los resultados en memoria.
- Cada proceso tiene su propio conjunto de registros (context switching).
- Todo resultado intermedio de evaluar una expresión compleja se almacena en registros o en memoria privada del proceso.

Atomicidad de grano fino

- Si una expresión ***e*** en un proceso no referencia una variable alterada por otro proceso, la evaluación será atómica, aunque requiera ejecutar varias acciones atómicas de grano fino.
- Si una asignación ***x = e*** en un proceso no referencia ninguna variable alterada por otro proceso, la ejecución de la asignación será atómica.

Normalmente los programas concurrentes no son disjuntos ⇒ es necesario establecer algún requerimiento más débil ...

Referencia crítica en una expresión ⇒ referencia a una variable que es modificada por otro proceso.

Asumamos que toda referencia crítica es a una variable simple leída y escrita atómicamente.

Atomicidad de grano fino
Propiedad de *"A lo sumo una vez"*

Una sentencia de asignación ***x*** = ***e*** satisface la propiedad de ***"A lo sumo una vez"*** si:

1) **e** contiene a lo sumo una referencia crítica y ***x*** no es referenciada por otro proceso, o
2) **e** no contiene referencias críticas, en cuyo caso ***x*** puede ser leída por otro proceso.

Una expresiones ***e*** que no está en una sentencia de asignación satisface la propiedad de ***"A lo sumo una vez"*** si no contiene más de una referencia crítica.

Puede haber a lo sumo una variable compartida, y puede ser referenciada a lo sumo una vez

- Si una expresión o asignación satisface ASV la ejecución será "atómica".

Especificación de la sincronización

- Si una expresión o asignación no satisface ASV con frecuencia es necesario ejecutarla atómicamente.
- En general, es necesario ejecutar secuencias de sentencias como una única acción atómica de grano grueso ***(sincronización por exclusión mutua)*** .

Mecanismo de sincronización para construir una acción atómica *de* ***grano grueso*** (*coarse grained*) como secuencia de acciones atómicas de grano fino (*fine grained*) que aparecen como indivisibles.

⟨e⟩ indica que la expresión ***e*** debe ser evaluada atómicamente.

⟨await (B) S;⟩ se utiliza para especificar sincronización.

La expresión booleana B especifica una condición de demora.
S es una secuencia de sentencias que se garantiza que termina.
Se garantiza que B es true cuando comienza la ejecución de S.
Ningún estado interno de S es visible para los otros procesos.

Especificación de la sincronización

Sentencia con alto poder expresivo, pero el costo de implementación de la forma general de *await* (exclusión mutua y sincronización por condición) es alto.

- ***Await general*:** **⟨await (s>0) s=s-1;⟩**

- ***Await para exclusión mutua*:** **⟨x = x + 1; y = y + 1⟩**

- ***Ejemplo await para sincronización por condición*:** **⟨await (count > 0) ⟩**

  Si B satisface ASV, puede implementarse como ***busy waiting*** o ***spin loop***

  do (not B) → skip od **(while (not B);)**

Acciones atómicas incondicionales y condicionales

Especificación de la sincronización

Ejemplo: productor/consumidor con buffer de tamaño N.

```
cant: int = 0;
Buffer: cola;

process Productor
  { while (true)
        Generar Elemento
        <await  (cant < N); push(buffer, elemento); cant++ >
  }

process Consumidor
  { while (true)
        <await  (cant > 0); pop(buffer, elemento); cant-- >
        Consumir Elemento
  }
```

Propiedades y Fairness

Propiedades de seguridad y vida

Una *propiedad* de un programa concurrente es un atributo verdadero en cualquiera de las historias de ejecución del mismo

Toda propiedad puede ser formulada en términos de dos clases: seguridad y vida.

- ***seguridad*** (safety)
  - Nada malo le ocurre a un proceso: asegura estados consistentes.
  - Una *falla de seguridad* indica que algo anda mal.
  - Ejemplos de propiedades de seguridad: exclusión mutua, ausencia de interferencia entre procesos, ***partial correctness***.
- ***vida*** (liveness)
  - Eventualmente ocurre algo bueno con una actividad: progresa, no hay deadlocks.
  - Una *falla de vida* indica que las cosas dejan de ejecutar.
  - Ejemplos de vida: ***terminación***, asegurar que un pedido de servicio será atendido, que un mensaje llega a destino, que un proceso eventualmente alcanzará su SC, etc $\Rightarrow$ ***dependen de las políticas de scheduling.***

¿Que pasa con la ***total correctness***?

Fairness y políticas de scheduling

***Fairness*: trata de garantizar que los procesos tengan chance de avanzar, sin importar lo que hagan los demás**

Una acción atómica en un proceso es ***elegible*** si es la próxima acción atómica en el proceso que será ejecutada. Si hay varios procesos ⇒ hay ***varias acciones atómicas elegibles*** *(una por proceso)*.
Una ***política de scheduling*** determina cuál será la próxima en ejecutarse.

Fairness Incondicional. Una política de scheduling es incondicionalmente fair si toda acción atómica incondicional que es elegible eventualmente es ejecutada.

Ejemplo:

```
bool continuar = true;
co while (continuar) sentencias; // sentencias; continuar = false; oc
```

Fairness y políticas de scheduling

Fairness Débil. Una política de scheduling es débilmente fair si :
(1) Es incondicionalmente fair y
(2) Toda acción atómica condicional que se vuelve elegible eventualmente es ejecutada, asumiendo que su condición se vuelve ***true*** y permanece ***true*** hasta que es vista por el proceso que ejecuta la acción atómica condicional.

Ejemplo:

```
bool continuar = false;
co  < await (continuar) >; sentencias //
    sentencias; continuar = true; sentencias oc
```

No es suficiente para asegurar que cualquier sentencia ***await*** elegible eventualmente se ejecuta: la guarda podría cambiar el valor (de ***false*** a ***true*** y nuevamente a ***false***) mientras un proceso está demorado.

Fairness y políticas de scheduling

Ejemplo:

```
bool continuar = true, ocupado = false;
co while (continuar) { ocupado = true; ocupado = false; } //
    ⟨await (ocupado) continuar = false⟩
oc
```

Fairness Fuerte. Una política de scheduling es ***fuertemente fair*** si:

(1) Es incondicionalmente fair y

(2) Toda acción atómica condicional que se vuelve elegible eventualmente es ejecutada pues su guarda se convierte en ***true*** con infinita frecuencia.

No es simple tener una política que sea práctica y fuertemente fair. En el ejemplo anterior, con 1 procesador, una política que alterna las acciones de los procesos sería fuertemente fair, pero es impráctica. Round-robin es práctica pero no es fuertemente fair.