Programación de Sistemas y Concurrencia

Tema 1: Introducción a la Programación de Sistemas

Grado en Ingeniería Informática
Grado en Ingeniería del Software
Grado en Ingeniería de Computadores

Índice de contenidos

- Programación de sistemas y sistemas operativos
- Programación de sistemas de caja de negra: lenguajes de script
- Lenguajes para programación de sistemas
- Gestión de actividades concurrentes: procesos y eventos

Programación de Sistemas

- El concepto de programación de sistemas tiene sentido frente al de programación de aplicaciones
- En la programación de aplicaciones, el objetivo es producir software para proporcionar servicios al usuario (por ej. Un procesador de textos)
- En la programación de sistemas el software proporciona servicios al hardware, al sistema operativo o a otros componentes del sistema

Programación de Sistemas

- En la programación de sistemas el grado de abstracción con respecto al hardware y la forma en la que se ejecutan las aplicaciones es menor
- Un ejemplo de programación de sistemas es la programación de sistemas empotrados/embebidos
- En estos sistemas los computadores forman parte de otros sistemas más complejos, que controlan

Programación de Sistemas

- Un tipo concreto de sistema embebido son los dispositivos IoT o del Internet de las Cosas, donde las “cosas” (una tostadora, el aire acondicionado, una bombilla) están conectadas a Internet
- Existen múltiples microcomputadores diferentes que embebidos en estas “cosas” las convierten en dispositivos conectados
- En este caso el software de sistema oculta estas diferencias y ofrece a las aplicaciones una forma común de usar e interactuar con estos dispositivos.

Programación de Sistemas

- Algunas características que hacen a la programación de sistemas "especial":
  - Se interacciona con el mundo físico a través del hardware
  - En esta interacción hay que tener en cuenta factores como:
    - La fiabilidad y la criticidad de los sistemas. Los sistemas deben ser predecibles
    - Los recursos (memoria, almacenamientos, comunicaciones,..) son limitados y hay que tenerlos en cuenta al programar
    - El tiempo físico
      - Los ordenadores son inherentemente secuenciales y en el tiempo discreto
      - En el mundo real, el tiempo es continuo y existe la simultaneidad de eventos
      - La interacción con el entorno esta sujeta a restricciones de tiempo real

Programación de Sistemas

- ¿Cómo interactuamos con el entorno?
  - A través del sistema operativo, que a su vez controla el hardware
    - El sistema operativo controla el hardware y nos proporciona abstracciones de más alto nivel a través de Interfaces de Aplicación
    - Gestiona aspectos como el tiempo, la concurrencia, etc., para que sea más fácil
  - Directamente sobre el hardware "desnudo". Esto es así en algunos sistemas empotrados con recursos muy limitados (el sistema operativo no cabe) o en el caso de que trabajemos en las primeras capas de un sistema operativo.

Programación de Sistemas

- Los sistemas operativos proporcionan servicios (ejecución de programas, operaciones de entrada/salida, comunicación, gestión del sistema de ficheros, etc.), que pueden ser utilizados mediante:
  - Llamadas al sistema desde un lenguaje de programación. Estas llamadas abstraen la interacción con el hardware proporcionando funciones de alto nivel que se acceden a través de bibliotecas del lenguaje de programación
  - Mediante programas escritos en lenguajes de script, que son un conjunto de comandos interpretados por el shell o intérprete de comandos del sistema operativo
- Se suele distinguir entre programación de sistemas de caja negra (lenguajes de script) o caja blanca (llamadas al sistema), dependiendo de la forma de utilizar los servicios del sistema operativo

Lenguajes de Script

- Los lenguajes de script, son lenguajes de programación interpretados que tienen su origen en los lenguajes de control de tareas (batch languages) de los primeros sistemas operativos
- Aunque en un principio estos lenguajes eran muy simples (básicamente variables y sentencias de control), se han ido sofisticando
- Ejemplo: Un script Linux para convertir .jpg a .png

```
for jpg in "$@" ; do                    #  "$@“ indica los parámetros de la línea de control
png="${jpg%.jpg}.png"                   # cambia la extensión del nombre de fichero
echo convirtiendo "$jpg" …              # estado en pantalla
if convert "$jpg" jpg.to.png ; then     #  convert es el programa de conversión
   mv jpg.to.png "$png"                 # Si funciona renombra el fichero de salida
else                          # …informar acerca del error, guardar el resultado y salir con error
   echo 'error: failed output saved in "jpg.to.png".' 1>&2 exit 1
fi                                       # fin del if
Done                                     # fin del for
echo conversion realizada con éxito  # tell the user the good news
exit 0
```

Lenguajes de Script

- Los lenguajes de script se han ido sofisticando y en la actualidad no se utilizan solo en el contexto de los sistemas operativos. Algunos ejemplos:
  - Perl se diseñó originalmente como un lenguaje para tratamiento de ficheros de texto, pero evolucionó a un lenguaje de prototipado rápido bastante sofisticado:
    - Soporte de expresiones regulares y “pattern matching”
    - Gestión de ficheros
    - Definición de procedimientos y funciones
    - Modularidad y programación orientada a objeto (versiones 5.5 y +)
  - Web browsers. Los scripts se ejecutan en el contexto del navegador. Han sido lenguajes con mucho éxito en los últimos años (JavaScript, VBScript))

Lenguajes de Script

- Un ejemplo de lenguajes de Script en Web, JavaScript:
  - Lenguaje de prototipado (al menos en sus inicios!), pensado para su ejecución en Web browsers
  - No tiene nada que ver con Java, sistema de tipos débil (soporta polimorfismo y conversión de tipos)
  - Soporta construcciones propias de los lenguajes funcionales y orientados a objetos

```
function sum()
{
   var i, x = 0;
   for (i = 0; i < arguments.length; ++i) { x += arguments[i]; }
   return x;
}
sum(1, 2, 3); // devuelve 6
```

Lenguajes de Script

- ¿Cómo se utiliza desde un navegador web?

```
<!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.01//EN"
    "http://www.w3.org/TR/html4/strict.dtd">
<html>
  <head>  <title>pagina simple</title></head>
  <body>
      <h1 id="header">This  is JavaScript</h1>
      <script type="text/javascript">
          document.write('Hola  programación de sistemas!');
          var h1 = document.getElementById("header");  // referencia al tag <h1>
          h1 = document.getElementByTagName("h1")[0]; // acceso al elemento <h1>
      </script>
      <noscript>Tu navegador. </noscript>
   </body>
</html>
```

El MCM en JavaScript

```
/* Finds the lowest common multiple of two numbers */
function LCMCalculator(x, y) { // constructor function
        var checkInt = function (x) { // inner function
          if (x % 1 !== 0) { throw new TypeError(x + " is not an integer"); // throw an exception }
          return x;
        };
 this.a = checkInt(x);
 this.b = checkInt(y);

 LCMCalculator.prototype = { // object literal
   constructor: LCMCalculator, // when reassigning a prototype, set the constructor property
    gcd: function () { // method that calculates the greatest common divisor
    var a = Math.abs(this.a), b = Math.abs(this.b), t;
          if (a < b) { // swap variables
             t = b; b = a; a = t;
          }
     while (b !== 0)
          {
            t = b; b = a % b; a = t;
          }
   this['gcd'] = function () { return a; }; return a; },

function output(x) { document.write(x + "<br>"); }

[[25, 55], [21, 56], [22, 58], [28, 56]].map(function (pair) { // array literal + mapping function return new
       LCMCalculator(pair[0], pair[1]); }).sort(function (a, b) { // sort with this comparative function return a.lcm() -
       b.lcm(); }).forEach(function (obj) { output(obj + ", gcd = " + obj.gcd() + ", lcm = " + obj.lcm()); });
```

Lenguajes para Programación de Sistemas

- Aunque los lenguajes de script tienen una amplia aplicación en algunos contextos (GUIs, navegadores,…), la mayor parte de los programas para programación de sistemas se escriben utilizando lenguajes de bajo nivel.
- Algunas características:
  - Acceso a memoria física, sin recolección de basura, direcciones absolutas, bits sin signo, tipos de memoria (ROM, RAM, flash,…)
  - Posibilidad de acceso al hardware bien directamente (Ada), bien a través de interfaces de acceso al sistema operativo en bibliotecas (C, C++,..)
  - Soporte de eventos y/o concurrencia (del mismo modo)
  - Eficientes y con capacidad de análisis de consumo de recursos (predecibles)

Lenguajes para Programación de Sistemas

- Con frecuencia los sistemas de desarrollo son distintos de los sistemas en los que se va a ejecutar la aplicación final
- Los compiladores que se utilizan se denominan compiladores cruzados y generan código para plataformas distintas en las que se ejecutan.
  - La máquina en la que se desarrolla se denomina host y en la que se ejecuta target
  - La depuración se realiza parcialmente en el host utilizando emuladores y simuladores del hardware
  - La depuración final es compleja, porque en ocasiones el target no tiene interfaces de entrada/salida

Lenguajes para Programación de Sistemas

- El tiempo:
  - Suelen existir primitivas para acceso al reloj del sistema y para expresar retrasos en la ejecución del programa
  - En Java:
    - System.currentTimeMillis(), reloj del sistema, se afecta por los cambios de otros comandos (por ejemplo al cambiar la fecha)
    - System.nanoTime(), reloj absoluto desde el comienzo de la ejecución de la máquina virtual
  - Ejercicio: ¿Cómo medir el tiempo que tarda en ejecutarse un trozo de código?

Lenguajes para Programación de Sistemas

```
...
long start = System.nanoTime(); // necesita java 1.5
    // Código a monitorizar
double elapsedTimeInSec  = (System.nanoTime() - start) * 1.0e-9
```

- Problemas:
  - Interferencia de otros programa, procesos
  - Gestión de la memoria. Las variables pueden cambiar de sitio (memoria principal, cache,….) sin nuestro control
  - Pero necesitamos conocer el peor tiempo: Lenguajes para Sistemas de Tiempo Real

Lenguajes para Programación de Sistemas

- La gestión de memoria:
  - En los lenguajes actuales la gestión de la memoria se ha automatizado mucho
  - No sabemos físicamente dónde están nuestras variables u objetos
  - Pueden cambiar de sitio de forma transparente y son eliminados cuando no van a ser utilizados de nuevo
- En la programación de sistemas necesitamos tener un mayor control
- Por ejemplo:
  - El hardware se accede a través de registros que se encuentran en direcciones físicas de memoria fijas
  - Ese registro habrá que mapearlo a una variable de mi programa para poderlo manipular

Un ejemplo en Ada

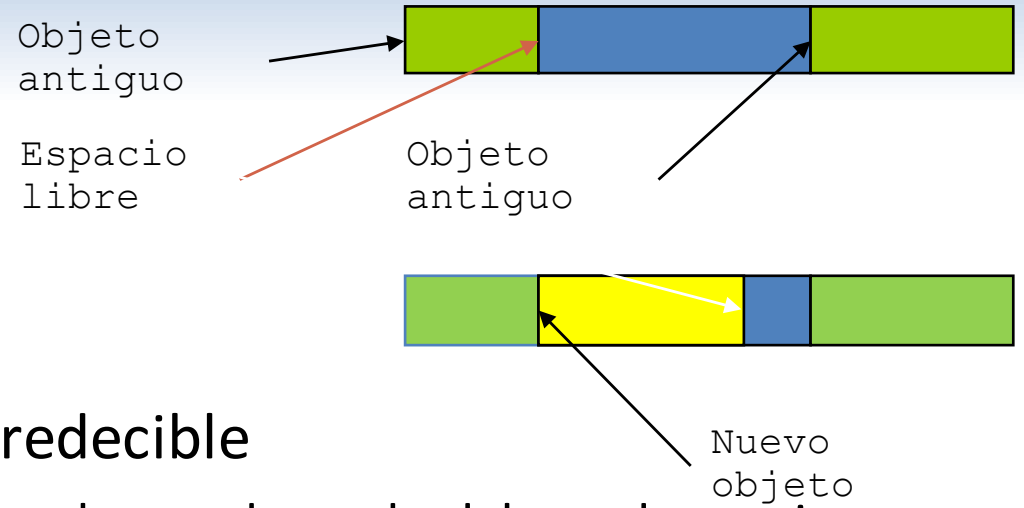

```
for Reg_Cont use record
    Denable : at 0 range 0..0 ;
    Dfun : at 0 range 1..2 ;
    Unit : at 0 range 3..5;
    Busy :at 0 range 6..6;
    Error : at 0 range 7..7 ;
end record ;
for Reg_Cont´Size use 8 ;  -- 16 bits
for Reg_Cont´Alignment use 2;  -- 1 bytes de para alineación
for Reg_Cont´Bit_Order use Low_Order_First ;
```

Un ejemplo en Ada

```
Control: Reg_Cont;
for Control´Address use 8#177566# ;
Tmp: Reg_Cont;  --
Tmp :=( Denable=>True,  Dfun=>Read, Unit=>4, Errors=>None) ;
Tcsr :=Tmp ;
```

- Se especifica la dirección en la que se encuentra el registro
- Los registros se manipulan como variables normales del programa

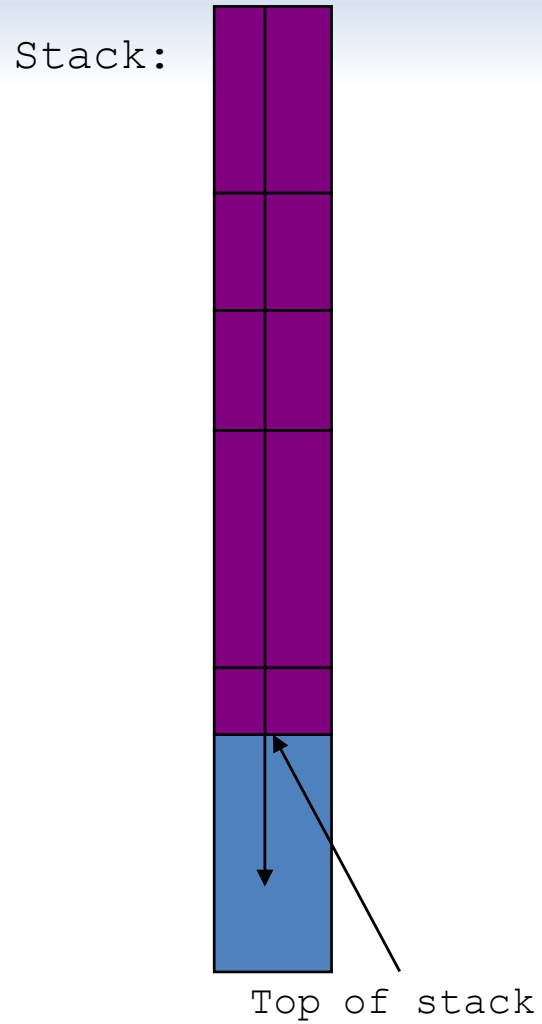
Gestión de memoria



- El problema:
  - Gestión de memoria no predecible
    - El esfuerzo para encontrar un hueco depende del estado previo de la memoria
  - Fragmentación
    - Si tienes un hueco de tamaño N y creas un objeto de tamaño M, con M<N tenemos un fragmento de tamaño M-N
    - Después de un tiempo de ejecución, la mayor parte de la memoria son huecos (recolección de basura)
  - Las direcciones correspondientes al hardware no se pueden recolectar

Gestión de memoria

- Solución: pre-asignar
  - Objetos globales
    - Creados al inicio del programa con un tamaño fijo
  - Usar pilas
    - Crecen y decrecen sólo en la cima
      - Sin fragmentar
      - Operaciones de tiempo constante
  - Pools de objetos de tamaño fijo
    - Los asignamos y devolvemos a “mano“
      - No hay fragmentación
      - Operaciones de tiempo constante



Lenguajes de Programación: Gestión de Memoria

- Las anteriores limitaciones hace que no todos los lenguajes puedan ser utilizados en la programación de sistemas
- Los más utilizados con diferencia son C y C++, que permiten acceder a la memoria física y no tienen recolector de basura
  - Son lenguajes extremadamente propensos a errores
  - Están impuestos por la industria
- Lenguajes como Ada, de más alto nivel y específicamente diseñados para programación de sistemas han tenido un impacto limitado y sólo se usan en algunos sectores, como el aeroespacial
- Java de tiempo real, con un sistema de gestión de memoria muy complejo (automática, inmortal,….) ha tenido un impacto también muy limitado.

Gestión de actividades concurrentes: Eventos y Procesos

- Como consecuencia de la interacción con el mundo físico, la programación de sistemas tiene que hacer frente a interacciones con el entorno que pueden ser concurrentes simultáneas o de las que simplemente desconocemos el orden
- Un ejemplo sencillo: gestión del teclado de un reproductor MP3

Gestión de actividades concurrentes: Eventos y Procesos

- Supongamos un paquete en java, que nos proporciona la siguiente interfaz:

```
public interface MP3Player
{
    boolean PlayKeyPressed();
    boolean FastForwardKeyPressed();
    boolean RewindKeyPressed();
    boolean StopKeyPressed();

    void Play();
    void FastForward();
    void Rewind();
    void Stop();
}
```

- ¿Cómo lo hacemos?

Gestión de actividades concurrentes: Eventos y Procesos

```
public class MP3Example
{
      public void Test()
     {
      MP3Example player = MP3PlayerManager.GetPlayer();
      while(true)
      {
            if (player.PlayKeyPressed())
            {
                  player.Play();
            }
            else if (player.FastForwardKeyPressed())
            {
                  player.FastForward();
            }
            …
      }
     }
}
```

Eventos y Procesos

- Si las funciones son no bloqueantes consumimos constantemente CPU
- Si son bloqueantes, no sabemos en que orden se van a pulsar las teclas
- En ambos casos, lo más importante:
  - Las teclas se pueden pulsar en cualquier momento y en cualquier orden
  - ¿Cómo controlamos la gestión de las teclas mientras que se ejecuta player.Play(),…?
  - ¿Cuándo/Cómo empieza y acaba el sistema?
- Se trata de un ejemplo sencillo, situaciones mucho más complejas ocurren continuamente en Programación de Sistemas

Eventos y Procesos

- Los sistemas operativos y (algunos) lenguajes proporcionan abstracciones para tratar con la interacción con el entorno y con otros sistemas software
- Las más comunes son:
  - Concurrencia: Distintas entidades (procesos/hebras) se ejecutan (conceptualmente) al mismo tiempo. En el ejemplo anterior cada proceso se encargaría de una de las funciones. El orden de ejecución viene impuesto por el entorno
  - Eventos: En este caso, el flujo del programa no es secuencial, sino que viene determinado por los eventos externos. Las aplicaciones están estructuradas en dos bloques separados (detección y selección de eventos y el manejo de estos eventos).
- Las abstracciones no son excluyentes. Se pueden y se deben combinar en algunos casos (Java soporta ambas)

En resumen…

- La programación de sistemas tiene muchos aspectos que la diferencian de la programación de aplicaciones de usuario
  - Interacción con el sistema operativo y el hardware
  - El tiempo real es importante y hay que saber gestionarlo
  - Lenguajes de scripting
  - No todas las abstracciones de la programación más convencional se pueden utilizar. Gestión de memoria diferente
  - Se necesitan nuevas abstracciones para tratar con la concurrencia

En resumen…

- En el resto de la asignatura, nos centraremos en:
  - La gestión de memoria y programación de bajo nivel con el lenguaje C
  - Estudiar la concurrencia como la abstracción más importante en la programación de sistemas y también en:
    - Sistemas Distribuidos y Paralelos
    - Comunicaciones
    - Sistemas de Tiempo Real
  - Estudiar la programación basada en eventos y como esta se puede combinar con la concurrencia
  - El diseño de Interfaces Gráficas de Usuario complejas combinando ambas técnicas