

## Tema 2.7. Subprogramas. Traducción

Pedro Javier Rodríguez Rodrigo, Víctor Cuadrado Juan

7 de mayo de 2014

# Organización de la memoria

- Es posible acceder a los datos globales

# Organización de la memoria

- Es posible acceder a los datos globales
- Desde cualquier registro de activación es necesario referir al registro de activación asociado con el bloque padre (que no tiene porque ser necesariamente el registro de activación anterior)

# Organización de la memoria

- Es posible acceder a los datos globales
- Desde cualquier registro de activación es necesario referir al registro de activación asociado con el bloque padre (que no tiene porque ser necesariamente el registro de activación anterior)
- Dos Posibles organizaciones:

# Organización de la memoria

- Es posible acceder a los datos globales
- Desde cualquier registro de activación es necesario referir al registro de activación asociado con el bloque padre (que no tiene porque ser necesariamente el registro de activación anterior)
- Dos Posibles organizaciones:
  - ① Enlaces estáticos

# Organización de la memoria

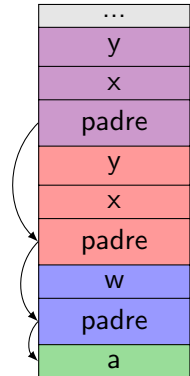
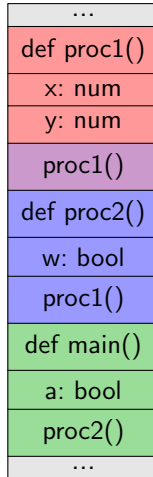
- Es posible acceder a los datos globales
- Desde cualquier registro de activación es necesario referir al registro de activación asociado con el bloque padre (que no tiene porque ser necesariamente el registro de activación anterior)
- Dos Posibles organizaciones:
  - 1 Enlaces estáticos
  - 2 Displays

# Enlaces estáticos

- En el registro de activación se incluye un enlace al registro de activación del bloque padre (enlace estático)
- La memoria se organiza en forma de pila de registros de activación, enlazados a través de los enlaces estáticos

## Enlaces estáticos: Ejemplo

```
proc proc1(){  
    x: num;  
    y: num;  
    proc1();  
}  
  
proc proc2(){  
    w: bool;  
    proc1();  
}  
  
main(){  
    a: bool;  
    proc2();  
}
```





# Enlaces estáticos: Problemas

¿Qué problemas hay?

# Enlaces estáticos: Problemas

¿Qué problemas hay?

- 1 La recuperación del enlace de un identificador global supone seguir toda la cadena de enlaces estáticos. Si el identificador ha sido declarado  $k$  niveles por encima, es necesario realizar  $k$  indirecciones hasta llegar al correspondiente registro de activación

# Enlaces estáticos: Problemas

¿Qué problemas hay?

- 1 La recuperación del enlace de un identificador global supone seguir toda la cadena de enlaces estáticos. Si el identificador ha sido declarado  $k$  niveles por encima, es necesario realizar  $k$  indirecciones hasta llegar al correspondiente registro de activación
- 2 Hay que considerar la complejidad de generar código que gestione de manera adecuada los enlaces estáticos

# Enlaces estáticos: Problemas

¿Qué problemas hay?

- 1 La recuperación del enlace de un identificador global supone seguir toda la cadena de enlaces estáticos. Si el identificador ha sido declarado  $k$  niveles por encima, es necesario realizar  $k$  indirecciones hasta llegar al correspondiente registro de activación
- 2 Hay que considerar la complejidad de generar código que gestione de manera adecuada los enlaces estáticos

Solución:

Almacenar los enlaces estáticos *fuera* de los registros de activación. La estructura que los almacena se llama **display**.

# Display

- Secuencia de celdas consecutivas que apuntan a registros de activación

# Display

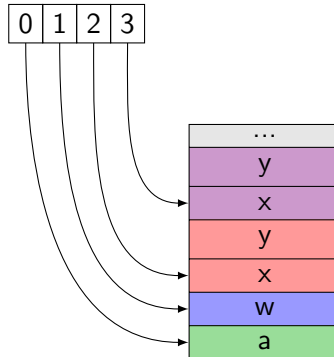
- Secuencia de celdas consecutivas que apuntan a registros de activación
- La celda  $i$  apunta al registro de activación que está siendo utilizado en el nivel de anidamiento  $i$

# Display

- Secuencia de celdas consecutivas que apuntan a registros de activación
- La celda  $i$  apunta al registro de activación que está siendo utilizado en el nivel de anidamiento  $i$
- Esta estructura facilita el acceso a los datos globales: el enlace para un identificador declarado en un bloque que se encuentra a profundidad  $i$  estará en el registro de activación referido por la celda  $i$  del display (el *display*  $i$  a partir de ahora)

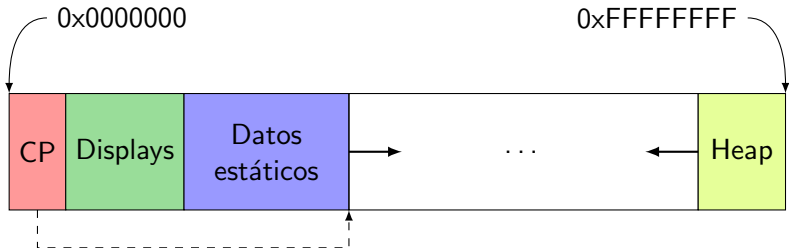
## Display: Ejemplo

```
proc proc1(){  
    x: num;  
    y: num;  
    proc1();  
}  
proc proc2(){  
    w: bool;  
    proc1();  
}  
main(){  
    a: bool;  
    proc2();  
}
```





# Memoria de un programa I



## Memoria de un programa II

Las primeras celdas de la memoria se destinarán a mantener la información de estado necesaria para gestionar adecuadamente la pila de registros de activación:

- Registro *CP*: Contendrá siempre la dirección de la **última celda ocupada** por la pila de registros de activación (cuando la pila esté vacía, el valor de *CP* será la dirección de la celda anterior -la última celda ocupada por el display-)

## Memoria de un programa II

Las primeras celdas de la memoria se destinarán a mantener la información de estado necesaria para gestionar adecuadamente la pila de registros de activación:

- Registro *CP*: Contendrá siempre la dirección de la **última celda ocupada** por la pila de registros de activación (cuando la pila esté vacía, el valor de *CP* será la dirección de la celda anterior -la última celda ocupada por el display-)
- *Display*

# Estructura de los Registros de activación

dibujo del registro de activación

# Inicio

- Se fija el *display 0* a la primera celda de datos estáticos

dibujo

# Inicio

- Se fija el *display 0* a la primera celda de datos estáticos
- Se fija el *CP* a la posición de la última celda del display (la última celda ocupada)

dibujo

# Inicio

- Se fija el *display 0* a la primera celda de datos estáticos
- Se fija el *CP* a la posición de la última celda del display (la última celda ocupada)
- Con ello se consigue un esquema homogéneo de direccionamiento de datos estáticos y de datos en los registros de activación

dibujo

# Inicio

```
1 fun inicio(numNiveles,tamDatos) devuelve
2   // fijamos display 0 a la 1a celda de datos estaticos:
3   apila(numNiveles+2)           ||// +2: CP, display 0
4   desapila-dir(1)               ||
5   // fijamos CP a la ultima celda de datos estaticos:
6   apila(1+numNiveles+tamDatos) ||// +1: display 0
7   desapila-dir(0)
8 ffun
9 cons longInicio = 4
```

Ejemplo: inicio(2,5)

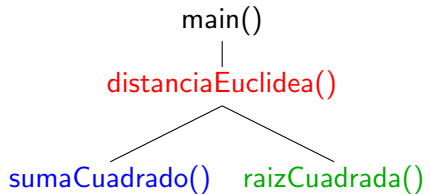
Dibujo del movimiento del cp



## Ejemplo de invocación

```
tipo tpar= rec x:num; y:num;
proc distanciaEuclidea(p1:tpar, p2:tpar, var res
:num)
  a: num; b: num;
  proc sumacuadrado(a:num, b:num, var r:num)
    a:=a*a;
    b:=b*b;
    r:=a+b;
  proc raizcuadrada(var n:num)
    ...
  &
  a:=p1.x-p2.x;
  b:=p1.y-p2.y;
  sumacuadrado(a, b, res);
  raizcuadrada(res);
par1:tpar; par2:tpar; resultado:num;
&
par1.x:=1; par1.y:=5;
par2.x:=8; par2.y:=12;
distanciaEuclidea(par1,par2,resultado);
```

¿Cual es el máximo nivel de anidamiento para éste programa?



¿Cual es el máximo nivel de anidamiento para éste programa? 2

# Esquema de la traducción

Dibujo de cómo queda la traducción de subprogramas y el main, y el salto con ir-a.

# Manejo de la activación y desactivación I

dibujo con la explicación de ir-ind

## Manejo de la activación y desactivación II

orden de la ejecución del código generado

# Prellamada

Asociada con la invocación  $p(e_1, \dots, e_k)$ :

- 1 Guardar en memoria la dirección de retorno

dibujo de lo que aparece al hacer los pasos

# Prellamada

Asociada con la invocación  $p(e_1, \dots, e_k)$ :

- 1 Guardar en memoria la dirección de retorno
- 2 Evaluar y almacenar parámetros de ejecución del procedimiento

dibujo de lo que aparece al hacer los pasos

# Prellamada

Asociada con la invocación  $p(e_1, \dots, e_k)$ :

- 1 Guardar en memoria la dirección de retorno
- 2 Evaluar y almacenar parámetros de ejecución del procedimiento
- 3 Saltar a la dirección de inicio del procedimiento

dibujo de lo que aparece al hacer los pasos



## Prellamada: Ejemplo

```
1 fun apila-ret(ret) devuelve
2   // calcular CP+1:
3   apila-dir(0)           ||
4   apila(1)               ||
5   suma                   ||
6   // guardar dir retorno:
7   apila(ret)             ||
8   desapila-ind           ||
9   ffun
10 cons longApilaRet = 5
```

Ejemplo: `apila-ret(0x527)` , siendo 0x527 el nº de instrucción.

Dibujo

# Prólogo I

Asociado con el prodecimiento *proc p(...)*:

- 1 Guardar el antiguo valor del display

dibujo de lo que aparece al hacer los pasos

# Prólogo I

Asociado con el prodecimiento *proc p(...)*:

- 1 Guardar el antiguo valor del display
- 2 Actualizar el valor nuevo del display

dibujo de lo que aparece al hacer los pasos

# Prólogo I

Asociado con el prodecimiento *proc p(...)*:

- 1 Guardar el antiguo valor del display
- 2 Actualizar el valor nuevo del display
- 3 Reservar espacio para las variables locales

dibujo de lo que aparece al hacer los pasos

## Prólogo II

```
1  fun prologo(nivel,tamlocales) devuelve
2    // salvar display antiguo:
3    apila-dir(0)      ||
4    apila(2)          ||
5    suma              ||
6    apila-dir(1+nivel) ||
7    desapila-ind      ||
8    // fijar el display actual:
9    apila-dir(0)      ||
10   apila(3)          ||
11   suma              ||
12   desapila-dir(1+nivel) ||
13   // reservar espacio para datos locales:
14   apila-dir(0)      ||
15   apila(tamlocales+2) ||
16   suma              ||
17   desapila-dir(0)
18  ffun
19  cons longPrologo = 13
```

## Prólogo: Ejemplo I

```
1 fun prologo(nivel,tamlocales) devuelve
2   // salvar display antiguo:
3   apila-dir(0)      ||
4   apila(2)          || // dir. retorno, antiguo display
5   suma              ||
6   apila-dir(1+nivel) || // +1: saltar al display 0
7   desapila-ind      ||
8   // fijar el display actual:
9   apila-dir(0)      ||
10  apila(3)           ||
11  suma               ||
12  desapila-dir(1+nivel) ||
13  // reservar espacio para datos locales:
14  apila-dir(0)       ||
15  apila(tamlocales+2) ||
16  suma               ||
17  desapila-dir(0)
18 ffun
```

Ejemplo: prologo(1,7)  
Dibujo

## Prólogo: Ejemplo II

```
1 fun prologo(nivel,tamlocales) devuelve
2   // salvar display antiguo:
3   apila-dir(0)      ||
4   apila(2)          ||
5   suma              ||
6   apila-dir(1+nivel) ||
7   desapila-ind      ||
8   // fijar el display actual:
9   apila-dir(0)      ||
10  apila(3)           ||
11  suma              ||
12  desapila-dir(1+nivel) ||
13  // reservar espacio para datos locales:
14  apila-dir(0)      ||
15  apila(tamlocales+2) ||
16  suma              ||
17  desapila-dir(0)
18 ffun
```

Ejemplo: prologo(1,7)  
Dibujo

## Prólogo: Ejemplo III

```
1 fun prologo(nivel,tamlocales) devuelve
2 // salvar display antiguo:
3   apila-dir(0)      ||
4   apila(2)          ||
5   suma              ||
6   apila-dir(1+nivel) ||
7   desapila-ind      ||
8 // fijar el display actual:
9   apila-dir(0)      ||
10  apila(3)           ||
11  suma              ||
12  desapila-dir(1+nivel) ||
13 // reservar espacio para datos locales:
14  apila-dir(0)       || // Mem[1+nivel] = Pila[Cima]
15  apila(tamlocales+2) || // +2: dir. retorno, antiguo display
16  suma              ||
17  desapila-dir(0)
18 ffun
```

Ejemplo: prologo(1,7)  
Dibujo



# Epílogo I

Asociado con el prodecimiento *proc*  $p(\dots)$ :

- Almacenar el valor devuelto por la función (en nuestro caso no se hace, no tenemos funciones)

dibujo de lo que aparece al hacer los pasos

# Epílogo I

Asociado con el prodecimiento *proc p(...)*:

- Almacenar el valor devuelto por la función (en nuestro caso no se hace, no tenemos funciones)
- ① Liberar el espacio utilizado por las variables locales (mover hacia atrás el CP)

dibujo de lo que aparece al hacer los pasos

# Epílogo I

Asociado con el prodecimiento *proc p(...)*:

- Almacenar el valor devuelto por la función (en nuestro caso no se hace, no tenemos funciones)
- ① Liberar el espacio utilizado por las variables locales (mover hacia atrás el CP)
- ② Restaurar el antiguo display

dibujo de lo que aparece al hacer los pasos

# Epílogo I

Asociado con el prodecimiento *proc p(...)*:

- Almacenar el valor devuelto por la función (en nuestro caso no se hace, no tenemos funciones)
- ① Liberar el espacio utilizado por las variables locales (mover hacia atrás el CP)
- ② Restaurar el antiguo display
- ③ Apilar la dirección de retorno y saltar usando *ir-ind*

dibujo de lo que aparece al hacer los pasos

## Epílogo II

```
1  fun epilogo(nivel) devuelve
2    // apilar la dir. retorno:
3    apila-dir(1+nivel)    ||
4    apila(2)              ||
5    resta                 ||
6    apila-ind             ||
7    // liberar espacio (mover CP):
8    apila-dir(1+nivel)    ||
9    apila(3)              ||
10   resta                 ||
11   copia                 ||
12   desapila-dir(0)        ||
13   // recuperar antiguo display:
14   apila(2)               ||
15   suma                  ||
16   apila-ind             ||
17   desapila-dir(1+nivel)
18  ffun
19  cons longEpilogo = 13
```

## Epílogo: Ejemplo I

```
1 fun epilogo(nivel) devuelve
2 // apilar la dir. retorno:
3 apila-dir(1+nivel) ||
4 apila(2) ||
5 resta ||
6 apila-ind ||
7 // liberar espacio (mover CP):
8 apila-dir(1+nivel) ||
9 apila(3) ||
10 resta ||
11 copia ||
12 desapila-dir(0) ||
13 // recuperar antiguo display:
14 apila(2) ||
15 suma ||
16 apila-ind ||
17 desapila-dir(1+nivel)
18 ffun
```

Ejemplo: epilogo(1)  
Dibujo

## Epílogo: Ejemplo II

```
1 fun epilogo(nivel) devuelve
2   // apilar la dir. retorno:
3   apila-dir(1+nivel)   ||
4   apila(2)             ||
5   resta                ||
6   apila-ind            ||
7   // liberar espacio (mover CP):
8   apila-dir(1+nivel)   ||
9   apila(3)             ||
10  resta                ||
11  copia                || // si no se usa copia, hay que mover CP lo ultimo
12  desapila-dir(0)      ||
13  // recuperar antiguo display:
14  apila(2)             ||
15  suma                 ||
16  apila-ind            ||
17  desapila-dir(1+nivel)
18 ffun
```

Ejemplo: epilogo(1)

¿Es la mejor forma de implementar el epilogo, con mover el CP en 2º lugar?

Dibujo

## Epílogo: Ejemplo III

```
1 fun epilogo(nivel) devuelve
2 // apilar la dir. retorno:
3 apila-dir(1+nivel)  ||
4 apila(2)            ||
5 resta              ||
6 apila-ind           ||
7 // liberar espacio (mover CP):
8 apila-dir(1+nivel)  ||
9 apila(3)            ||
10 resta              ||
11 copia              ||
12 desapila-dir(0)    ||
13 // recuperar antiguo display:
14 apila(2)            ||
15 suma               ||
16 apila-ind           ||
17 desapila-dir(1+nivel)
18 ffun
```

Ejemplo: epilogo(1)  
Dibujo



# Postllamada

- No es necesaria en nuestra implementación, ya que el epílogo recupera el estado anterior a la invocación

dibujo de la cima de la pila  
dibujo de la memoria

## Postllamada

- No es necesaria en nuestra implementación, ya que el epílogo recupera el estado anterior a la invocación
- Hemos terminado con la dirección (indirecta) de retorno en la cima de la pila

dibujo de la cima de la pila  
dibujo de la memoria

## Postllamada

- No es necesaria en nuestra implementación, ya que el epílogo recupera el estado anterior a la invocación
- Hemos terminado con la dirección (indirecta) de retorno en la cima de la pila

En otras arquitecturas:

dibujo de la cima de la pila

dibujo de la memoria

## Postllamada

- No es necesaria en nuestra implementación, ya que el epílogo recupera el estado anterior a la invocación
- Hemos terminado con la dirección (indirecta) de retorno en la cima de la pila

En otras arquitecturas:

- Soportan funciones con retorno de valor: copiar el valor devuelto por la función donde sea necesario

dibujo de la cima de la pila

dibujo de la memoria

## Postllamada

- No es necesaria en nuestra implementación, ya que el epílogo recupera el estado anterior a la invocación
- Hemos terminado con la dirección (indirecta) de retorno en la cima de la pila

En otras arquitecturas:

- Soportan funciones con retorno de valor: copiar el valor devuelto por la función donde sea necesario
- *x86, x86\_64, ARM . . .*: restaurar el estado (registros, diferentes punteros). . .

dibujo de la cima de la pila

dibujo de la memoria

# Resumen

repetir dibujo del manejo de la activacion y la desactivacion

## Paso de parámetros

- Las posiciones de los parámetros en el reg. de activación son relativas al  $CP$

dibujo del registro de activación con  $CP + 3$  y  $CP + 4$

## Paso de parámetros

- Las posiciones de los parámetros en el reg. de activación son relativas al  $CP$
- Durante la prellamada, el  $CP$  apunta a la celda anterior a la primera del reg. de activación

dibujo del registro de activación con  $CP + 3$  y  $CP + 4$



## Paso de parámetros

- Las posiciones de los parámetros en el reg. de activación son relativas al  $CP$
- Durante la prellamada, el  $CP$  apunta a la celda anterior a la primera del reg. de activación
- Por lo tanto, los parámetros y variables locales empezarán a partir de  $CP + 3$

dibujo del registro de activación con  $CP + 3$  y  $CP + 4$

## Paso de parámetros

- Las posiciones de los parámetros en el reg. de activación son relativas al  $CP$
- Durante la prellamada, el  $CP$  apunta a la celda anterior a la primera del reg. de activación
- Por lo tanto, los parámetros y variables locales empezarán a partir de  $CP + 3$
- Sus direcciones deben precalcularse en ejecución (antes de ejecutar el método) y guardarse en la TS

dibujo del registro de activación con  $CP + 3$  y  $CP + 4$

## Paso de parámetros

- Las posiciones de los parámetros en el reg. de activación son relativas al  $CP$
- Durante la prellamada, el  $CP$  apunta a la celda anterior a la primera del reg. de activación
- Por lo tanto, los parámetros y variables locales empezarán a partir de  $CP + 3$
- Sus direcciones deben precalcularse en ejecución (antes de ejecutar el método) y guardarse en la TS

¿Por qué deben precalcularse en ejecución?

dibujo del registro de activación con  $CP + 3$  y  $CP + 4$

## Paso de parámetros

- Las posiciones de los parámetros en el reg. de activación son relativas al  $CP$
- Durante la prellamada, el  $CP$  apunta a la celda anterior a la primera del reg. de activación
- Por lo tanto, los parámetros y variables locales empezarán a partir de  $CP + 3$
- Sus direcciones deben precalcularse en ejecución (antes de ejecutar el método) y guardarse en la TS

¿Por qué deben precalcularse en ejecución? Por que el  $CP$  se va moviendo y dejan de ser accesibles

dibujo del registro de activación con  $CP + 3$  y  $CP + 4$

## Paso de parámetros por valor

Dos formas:

- 1 modo **var**: `proc1(x);`

## Paso de parámetros por valor

Dos formas:

- ① modo **var**: `proc1(x);`
- ② modo **val**: `proc1(3);` ó `proc1(x+1);` ó `proc1(3+4);`  
Es decir, si pasa por la pila de evaluación, es de tipo **val**

## Paso de parámetros por valor

Dos formas:

- ① modo **var**: `proc1(x);`
- ② modo **val**: `proc1(3);` ó `proc1(x+1);` ó `proc1(3+4);`  
Es decir, si pasa por la pila de evaluación, es de tipo **val**

¿Que se hace en nuestra arquitectura?

## Paso de parámetros por valor

Dos formas:

- ① modo **var**: `proc1(x);`
- ② modo **val**: `proc1(3);` ó `proc1(x+1);` ó `proc1(3+4);`  
Es decir, si pasa por la pila de evaluación, es de tipo **val**

¿Que se hace en nuestra arquitectura?

- ① modo **var**: se copia el valor en el registro de activación (instrucción mueve)



## Paso de parámetros por valor

Dos formas:

- 1 modo **var**: `proc1(x);`
- 2 modo **val**: `proc1(3);` ó `proc1(x+1);` ó `proc1(3+4);`  
Es decir, si pasa por la pila de evaluación, es de tipo **val**

¿Que se hace en nuestra arquitectura?

- 1 modo **var**: se copia el valor en el registro de activación (instrucción mueve)
- 2 modo **val**: la cima de la pila de evaluación contendrá el valor de la expresión. Debemos desapilar el valor en el registro de activación