

S1. Introducción a los Entornos de Programación Paralela

J. M. Alonso, P. Alonso, F. Alvarruiz, I. Blanquer,
J. Ibáñez, E. Ramos, J. E. Román

Departament de Sistemes Informàtics i Computació
Universitat Politècnica de València

Curso 2024/25



1

Contenido

- 1** Programación en C
 - Recordatorio del Lenguaje C

- 2** Uso de Computadores Paralelos
 - Ciclo de Desarrollo

2

Apartado 1

Programación en C

- Recordatorio del Lenguaje C

3

El Lenguaje C

C es un lenguaje de programación de propósito general

- Características: compilado, portable y eficiente
- Java y C++ heredan la sintaxis de C
- Núcleo del lenguaje simple, funcionalidad extra mediante bibliotecas (librerías)
- Uno de los más utilizados en supercomputación

```
void daxpy(int n, double a, double *x, double *y)
{
    int i;
    for (i=0; i<n; i++) {
        y[i] = a*x[i] + y[i];
    }
}
```

4

Variables y Tipos Básicos

Todas las variables se han de declarar

- Enteros: char, int, long; modificador unsigned
- Enumerados: enum (equivale a un entero)
- Coma flotante: float, double
- Tipo vacío: void (uso especial)
- Tipos derivados: struct, arrays, punteros

```
char c;  
int i1,i2;  
enum {NORTE,SUR,ESTE,OESTE} dir;  
unsigned int k;  
const float pi=3.141592;  
double r=2.5,g;
```

```
c = 'M';  
i1 = 2;  
i2 = -5*i1;  
dir = SUR;  
k = (unsigned int) dir;  
g = 2*pi*r;
```

Se pueden definir nuevos tipos con typedef

```
typedef enum {ROJO,VERDE,AZUL,AMARILLO,BLANCO,NEGRO} color;  
color c1,c2;
```

5

Sentencias y Expresiones

Existen diferentes tipos de sentencias:

- Declaración de variables y tipos (dentro/fuera de función)
- Expresión, típicamente una asignación var=expr
- Sentencia compuesta (bloque {...})
- Condicionales (if, switch), bucles (for, while, do)
- Otras: sentencia vacía (;), salto (goto)

Expresiones:

- Asignaciones: =, +=, -=, *=, /=; incrementos: ++, --
- Aritméticas: +, -, *, /, %; a nivel de bit: ~, &, |, ^, <<, >>
- Lógicas: ==, !=, <, >, <=, >=, ||, &&, !
El cero se asimila a “falso” y cualquier otro a “verdadero”
- Operador ternario: a? b: c

6

Ejemplos de Sentencias de Control de Flujo

```
if (j>0) valor = 1.0;
else valor = -1.0;
```

```
if (i>1 && (qi[i]-1.0)<1e-7) {
    zm1[i] *= 1.0+sk1[i-1];
    zm2[i] *= 1.0+sk1[i-1];
} else {
    zm1[i] *= 1.0+sk0[i-1];
    zm2[i] *= 1.0+sk0[i-1];
}
```

```
for (i=0;i<n;i++) x[i] = 0.0;
```

```
k = 0;
while (k<n) {
    if (a[k]<0.0) break;
    z[k] = 2.0*sqrt(a[k]);
    k++;
}
```

```
switch (dir) {
    case NORTE:
        y += 1; break;
    case SUR:
        y -= 1; break;
    case ESTE:
        x += 1; break;
    case OESTE:
        x -= 1; break;
}
```

```
for (i=0;i<n;i++) {
    y[i] = b[i];
    for (j=0;j<i;j++) {
        y[i] -= L[i][j]*y[j];
    }
    y[i] /= L[i][i];
}
```

7

Arrays y Punteros

Array: colección de variables del mismo tipo

- En la declaración se indica la longitud
- Los elementos se acceden con un índice (empieza en 0)

```
#define N 10
int i;
double a[N],s=0.0;
for (i=0;i<N;i++)
    s = s + a[i];
```

Arrays multidimensionales: `double matriz[N][M];`

Las cadenas son arrays de char acabadas con el carácter `'\0'`

Puntero: variable que contiene la dirección de otra variable

- En la declaración se añade `*` antes del nombre de variable
- El operador `&` devuelve la dirección de una variable
- El operador `*` permite acceder al dato apuntado

```
double a[4] =
    {1.1,2.2,3.3,4.4};
double *p,x;
p = &a[2];
x = *p;
*p = 0.0;
p = a; /* &a[0] */
```

8

Más Sobre Punteros

Aritmética de punteros

- Operaciones básicas: +, -, ++
- El desplazamiento es del tipo al que apunta la variable

```
char s[] =  
    "Comput. Paralela";  
char *p = s;  
while (*p!='P') p++;
```

Puntero nulo

- Su valor es cero (NULL)
- Se usa para indicar un fallo

```
double w,*p;  
...  
if (!p)  
    error("Puntero inválido");  
else w = *p;
```

Puntero genérico

- De tipo void*
- Puede apuntar a variables de cualquier tipo

```
void *p;  
double x=10.0,z;  
p = &x;  
z = *(double*)p;
```

Puntero múltiple: double **p (puntero a puntero)

9

Estructuras

Estructura: colección de datos heterogéneos

- Los miembros se acceden con . (o -> en el caso de puntero a estructura)

```
struct complejo {  
    double re,im;  
};  
struct complejo c1, *c2;  
c1.re = 1.0;  
c1.im = 2.0;  
c2 = &c1;  
c2->re = -1.0;
```

```
typedef struct {  
    int i,j,k;  
    const char *label;  
    double data[100];  
} mystruct;  
  
mystruct s;  
s.label = "NEW";
```

10

Funciones

Un programa C se compone de al menos una función (main)

Devuelven un valor (a menos que la función sea de tipo void)

```
double rad2deg(double x) {  
    return x*57.29578;  
}
```

```
void mensaje(int k) {  
    printf("Fin etapa %d\n",k);  
}
```

Paso de parámetros por valor (el paso por referencia se consigue mediante punteros)

```
float fun1(float a,float b){  
    float c;  
    c = (a+b)/2.0;  
    return c;  
}  
...  
w = fun1(6.0,6.5);
```

```
void fun2(float *a,float *b){  
    float c;  
    c = ((*a)+(*b))/2.0;  
    if (fun3(c)*fun3(*a)<=0.0)  
        *b = c;  
    else *a = c;  
}  
...  
fun2(&x,&y);
```

Se pueden declarar funciones antes de su definición (prototipo)

11

Funciones de Biblioteca

Operaciones de cadenas <string.h>

- Copia cadena (strcpy), compara cadena (strcmp)
- Copia memoria (memcpy), inicializa memoria (memset)

Entrada-salida <stdio.h>

- Estándar: printf, scanf
- Ficheros: fopen, fclose, fprintf, fscanf

Utilidades estándar <stdlib.h>

- Gestión de memoria dinámica: malloc, free
- Conversiones: atof, atoi

Funciones matemáticas <math.h>

- Funciones y operaciones: sin, cos, exp, log, pow, sqrt
- Redondeo: floor, ceil, fabs

12

Ejemplo con Fichero

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

void leedatos( char *filename )
{
    FILE *fd;
    int i,n,*ia,*ja;
    double *va;
    fd = fopen(filename,"r");
    if (!fd) {
        perror("Error - fopen");
        exit(1);
    }
    fscanf(fd,"%i",&n);          /* numero de datos a cargar */
    ia = (int*) malloc(n*sizeof(int));
    ja = (int*) malloc(n*sizeof(int));
    va = (double*) malloc(n*sizeof(double));
    for (i=0;i<n;i++) {
        fscanf(fd,"%i%i%lf",ia+i,ja+i,va+i);
    }
    fclose(fd);
    procesa(n,ia,ja,va);
    free(ia); free(ja); free(va);
}
```

13

Tipos de Variables

Variables globales

- Se declaran fuera de cualquier función
- Acceso desde cualquier punto del programa
- Se crean en el segmento de datos

Variables locales

- Declaradas dentro de una función
- Visibles dentro del bloque
- Se crean en la pila (*stack*), se destruyen al salir

Variables estáticas

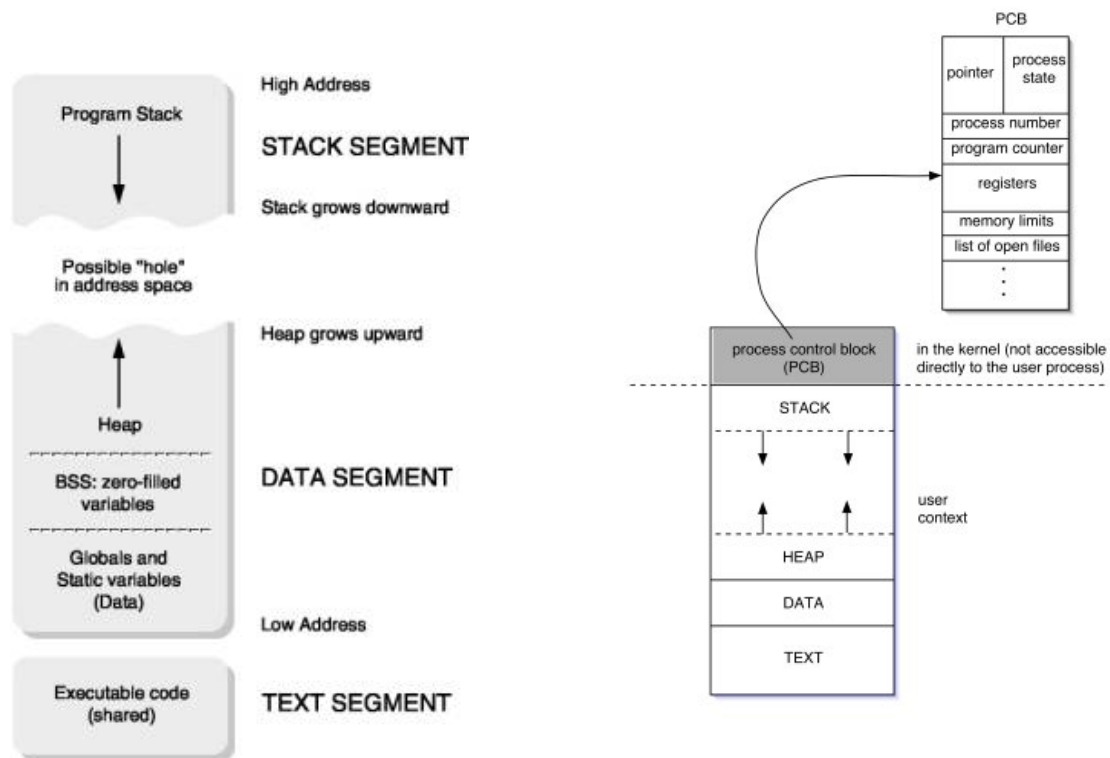
- Modificador `static`
- Ámbito local pero persistentes de una llamada a otra

Variables en memoria dinámica

- Memoria reservada con `malloc`, persisten hasta el `free`
- Se crean en el *heap*

14

Modelo de Memoria en Procesos Unix



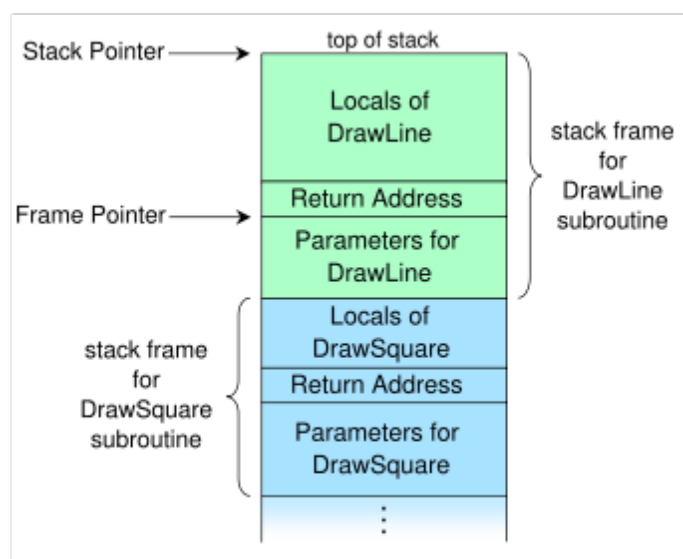
15

Pila de Llamadas

Los argumentos de una función son como variables locales

Al entrar en una función:

- 1 se apilan los argumentos
- 2 se apila la dirección de retorno
- 3 se crean las variables locales



Al hacer return se destruye todo el contexto creado

16

Apartado 2

Uso de Computadores Paralelos

■ Ciclo de Desarrollo

17

Ciclo de Desarrollo

El proceso de compilación consta de:

- **Preprocesado**: modifica el código fuente en C según una serie de instrucciones (directivas de preprocesado)
- **Compilación**: genera el código objeto (binario) a partir del código ya preprocesado
- **Enlazado**: une los códigos objeto de los distintos módulos y bibliotecas externas para generar el ejecutable final

El ciclo de desarrollo se complementa con otros pasos:

- Automatizar compilación de programas complejos (make)
- Depuración de errores (gdb, valgrind)
- Análisis de prestaciones (gprof)

18

Preprocesado

Como paso previo a la compilación se hace el preprocesado (comando `cpp`, se invoca automáticamente)

- `include`: inserta el contenido de otro fichero
- `define`: define constantes y macros (con argumentos)
- `if`, `ifdef`: compilación condicional
- `pragma`: directiva de compilador

```
#include "myheader.h"

#define PI 3.141592
#define DEBUG_
#define AVG(a,b) ((a)+(b))/2

#ifdef DEBUG_
    printf("variable i=%d\n",i);
#endif
```

19

Compilación y Enlazado

Compilación: `cc`

- Por cada fichero `*.c` se genera un `*.o`
- Contiene código máquina de las funciones y variables, y una lista de símbolos no resueltos

Enlazado o montaje (*link*): `ld`

- Resuelve todas las dependencias pendientes a partir de `*.o` y bibliotecas (`*.a`, `*.so`)

ej.c

```
#include <stdio.h>
extern double f1(double);
int main() {
    double x = f1(4.5);
    printf("x = %g\n",x);
    return 0;
}
```

f1.c

```
#include <math.h>
double f1(double x) {
    return 2.0/(1.0+log(x));
}
```

```
$ gcc -o ej ej.c f1.c -lm
```

20

Compilación de Programas Paralelos

OpenMP se basa en directivas `#pragma omp`

- Un compilador sin soporte OpenMP ignora estas directivas
- Los compiladores recientes tienen soporte, con una opción (es necesaria tanto al compilar como al enlazar)

```
$ gcc -fopenmp -o prgomp prgomp.c
```

MPI proporciona el comando `mpicc`

- Invoca a `cc` añadiendo todas las opciones necesarias (bibliotecas de MPI, ruta de `mpi.h`)
- Facilita la compilación en diferentes máquinas
- `mpicc -show` muestra las opciones que se usarán
- También `mpicxx`, `mpif77`, `mpif90`

```
$ mpicc -o prgmpi prgmpi.c
```