Memoria en C++

Di Paola Martín
martinp.dipaola <at> gmail.com

Facultad de Ingeniería
Universidad de Buenos Aires

Qué input es necesario para obtener un "You win!" ?

```
1  // compilar con flags:
2  //  -Wno-deprecated-declarations -std=c++11 -fno-stack-protector
3  #include <cstdio>
4
5  int main(int argc, char *argv[]) {
6      int cookie = 0;
7      char buf[10];
8
9      printf("buf: %08x cookie: %08x\n", buf, &cookie);
10     gets(buf);
11
12     if (cookie == 0x41424344) {
13         printf("You win!\n");
14     }
15
16     return 0;
17 } // Insecure Programming
```


De qué va esto?

Tamaños, Alineación y Padding

Segmentos de Memoria

Punteros

Buffer overflows

Sintaxis Punteros (bonus track)

Exacta reserva de memoria

```
   char c = 'A';
2  int i = 1;
3  short int s = 4;
4  char *p = 0;
5  int *g = 0;
6  int b[2] = {1, 2};
7  char a[] = "AB";
```

- Todo depende de la arquitectura y del compilador
- Alineación y padding
- Punteros del mismo tamaño
- Un cero como "fin de string"

c	65			
i	0	0	0	1
s	0	4		
p	0	0	0	0
g	0	0	0	0
b	0	0	0	1
	0	0	0	2
a	65	66	0	

- C, C++ y Rust son lenguajes de bajo nivel para que el programador pueda tener un control absoluto de dónde y cómo se ejecuta el código.
- El tamaño en bytes de los tipos depende de la arquitectura y del compilador. En `#include <cstdint>` se puede tener acceso a tipos con tamaños específicos como `uint64_t`
- El compilador puede guardar las variables en posiciones de memoria múltiplos de 4 (depende de la arquitectura y de los flags de compilación): variables alineadas son accedidas más rápidamente que las desalineadas.
- Como contra, la alineación despedicia espacio (padding) hay un tradeoff entre velocidad y espacio.
- El tamaño de un puntero no depende de a que tipo apunta; todos los punteros ocupan el mismo tamaño (que depende de la arquitectura).
- A los strings en C/C++ escritos en el código del programa el compilador les agrega el caracter nulo (byte 0). Tenerlo en cuenta!!

Agrupación de variables

```
1  struct S {
2     int  a;
3     char b;
4     int  c;
5     char d;
6  };
7
8  struct S s = {1,2,3,4};
```

s.a	0	0	0	1
s.b	2			
s.c	0	0	0	3
s.d	4			

- El padding se hace mas notorio en las estructuras: el acceso a cada atributo es rápido pero hay memoria desperdiciada.

Agrupación de variables

```
1 struct S {
2    int  a;
3    char b;
4    int  c;
5    char d;
6 } __attribute__((packed));
7
8 struct S s = {1,2,3,4};
```

s.a	0	0	0	1
s.b/s.c	2	0	0	0
s.c/s.d	3	4		

- Con el atributo especial de gcc `__attribute__((packed))` el compilador empaqueta los campos sin padding, más eficiente en memoria pero más lento.
- Y es más lento por que para leer el atributo `s.c` hay que hacer 2 lecturas.
- Y cuidado, en algunas arquitecturas la lectura de atributos desalineados hace crashear al programa!

Endianess: representación en memoria (intro)

```
Hay "537" rupees.
```

```
Hay "quinientos treinta y siete" rupees.
// El digito de la izquierda es
// el *mas* significativo

Hay "setecientos treinta y cinco" rupees.
// El digito de la izquierda es
// el *menos* significativo
```


- Por convención los números arábicos se leen de izquierda a derecha con el dígito de la izquierda como el más significativo.
- Otras notaciones podrían tener convenciones distintas.
- Nota: rupees es la moneda de The Legend of Zelda.

Endianess: representación en memoria

```
short i = 0x1234;
```

```
((unsigned char*)&i) == {0x12, 0x34}
// Primer byte es el *mas* significativo
// --> arquitectura big endian

((unsigned char*)&i) == {0x34, 0x12}
// Primer byte es el *menos* significativo
// --> arquitectura little endian
```

- El byte más significativo se lee/escribe primero (o esta primero en la memoria) en las arquitecturas big endian.
- Por el contrario en las arquitecturas little endian es el byte menos significativo quien esta primero en la memoria.
- El endianess es irrelevante si siempre trabajamos los `short`s como números pero se vuelve relevante en el momento que queremos interpretar un `short` como una tira de bytes (`char*`) o viceversa. Y esto es necesario cuando queremos escribir un número en un archivo binario o enviarlo por la red a otra máquina a traves de un socket!
- Siempre hay que especificar el endianess en que se guardan/envian los datos.
- Obviamente lo mencionado aqui para los `short`s aplica para el resto de los objetos en memoria, como los `int`s

Endianess: representación en memoria

Se puede cambiar el endianess de una variable `short int` y `int` del endianess nativo o "del host" a big endian o "el endianess de la red" y viceversa:

- Host to Network

```
1 htons(short int) htonl(int)
```

- Network to Host

```
1 ntohs(short int) ntohl(int)
```


- Para hacer uso de esas funciones hay que hacer `#include <arpa/inet.h>`.

Segmentos de memoria

- Code segment: de solo lectura y ejecutable, a donde va el código y las constantes.
- Data segment: variables creadas al inicio del programa y son válidas hasta que este termina; pueden ser de acceso global o local.
- Stack: variables creadas al inicio de una llamada a una función y destruidas automáticamente cuando esta llamada termina.
- Heap: variables cuya duración esta controlada por el programador (run-time).

Duración y visibilidad (lifetime and scope)

- Duración (lifetime): tiempo desde que a la variable se le reserva memoria hasta que esta es liberada. Determinado por el segmento de memoria que se usa.
- Visibilidad (scope): Cuando una variable se la puede acceder y cuando esta oculta.

Asignación del lifetime y scope

```
int g = 1;
static int l = 1;
extern char e;

void Fa() { }
static void Fb() { }
void Fc();

void foo(int arg) {
  int a = 1;
  static int b = 1;

  void * p = malloc(4);
  free(p);

  char *c = "ABC";
  char ar[] = "ABC";
}
```

Asignación del lifetime y scope

```
1  int g = 1;           // Data segment; scope global
2  static int l = 1;    // Data segment; scope local (este file)
3  extern char e;       // No asigna memoria (es un nombre)
4
5  void Fa() { }        // Code segment; scope global
6  static void Fb() { } // Code segment; scope local (este file)
7  void Fc();           // No asigna memoria (es un nombre)
8
9  void foo(int arg) {  // Argumentos y retornos son del stack
10    int a = 1;        // Stack segment; scope local (func foo)
11    static int b = 1; // Data segment; scope local (func foo)
12
13    void * p = malloc(4); // p en el Stack; apunta al Heap
14    free(p);              // liberar el bloque explicitamente!!
15
16    char *c = "ABC";   // c en el Stack; apunta al Code Segment
17    char ar[] = "ABC"; // es un array con su todo en el Stack
18 } // fin del scope de foo: las variables locales son liberadas
```

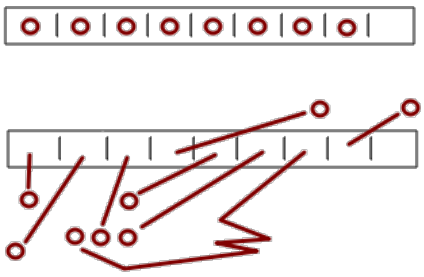

- En C++ usaras más frecuentemente **new** que **malloc** para reservar memoria en el heap. La diferencia es que **new** ademas de reservar memoria llama a los constructores (que los veremos pronto).

El donde importa! - Segmentation Fault

```
1
2  void f() {
3     char *a = "ABC";
4     char b[] = "ABC";
5
6     b[0] = 'X';
7     a[0] = 'X';  // segmentation fault
8  }
```


- Como el puntero "a" apunta al Code Segment y este es de solo lectura, tratar de modificarlo termina en un Segmentation Fault

El donde importa! - Cache friendly



- El primer array contiene los elementos de interes mientras que el segundo contiene punteros a los elementos.
- El array de punteros es más ineficiente (lento) que el primero por 2 razones: hay un nivel de indirección adicional (hay que dereferenciar el puntero y saltar) y se pierde la localidad.
- Cuando un valor de memoria es leído, la CPU se trae todo un bloque contiguo de memoria a su cache. Acceder a valores contiguos en memoria es rápido por que todos se encuentran en la cache.
- En cambio, leer valores que estan desperdigados por toda la memoria requiere que el CPU se los traiga de a una a la vez.
- En la jerga se dice que el primer array es cache friendly.

Punteros

```
int *p;     // p es un puntero a int
            // (p guarda la direccion de un int)

int i = 1;
p = &i;     // &i es la direccion de la variable i

*p = 2;     // *p dereferencia o accede a la memoria
            // cuya direccion esta guardada en p

/* i == 2 */
```

```

char buf[512];
write(&buf[0], 512);
```


Aritmética de punteros

```
int a[10];
int *p;

p = &a[0];

*p       // a[0]
*(p+1)   // a[1]


int *p;
p+1      // movete sizeof(int) bytes (4)

char *c;
c+2      // movete 2*sizeof(char) bytes (2)
```


- La notación de array (indexado) y la aritmética de punteros son escencialmente lo mismo.
- La aritmética de punteros se basa en el tamaño de los objetos a los que se apunta al igual que el indexado de un array.

Punteros a funciones (al code segment)

```
int g(char) {}

int (*p)(char);
p = &g;
```

```
#include <stdlib.h>
void qsort(void *base,
           size_t nmemb,
           size_t size,

           int (*cmp)(const void *, const void *)
          );

int cmp_personas(const void* a, const void* b) {
    struct Persona *pa = (struct Persona*)a;
    struct Persona *pb = (struct Persona*)b;

    return pa->edad - pb->edad;
}
```


Smash the stack for fun and profit

```
// compilar con flags:
//  -Wno-deprecated-declarations -std=c++11 -fno-stack-protector
#include <cstdio>

int main(int argc, char *argv[]) {
    int cookie = 0;
    char buf[10];

    printf("buf: %08x cookie: %08x\n", buf, &cookie);
    gets(buf);

    if (cookie == 0x41424344) {
        printf("You win!\n");
    }

    return 0;
} // Insecure Programming
```


- Es claro que al inicializar `cookie` a cero nunca se va a imprimir `"You win!"`... o si?
- `gets` lee de la entrada estándar hasta encontrar un `'\n'` y lo que leea lo escribira en el buffer `buf`. Pero si el input es más grande que el buffer, `gets` escribira por fuera de este y sobreescribira todo el stack lo que se conoce como Buffer Overflow.
- Para hacer que el programa entre al `if` e imprima `"You win!"` se debe forzar a un buffer overflow con un input crafteado:
- Debe tener 10 bytes de mínima para ocupar el buffer `buf`.
- Posiblemente deba tener algunos bytes adicionales para ocupar el posible espacio de padding usado para alinear las variables.
- Luego se debe escribir los 4 bytes que sobreescribiran `cookie` pero cuidado, dependiendo de la arquitectura y flags del compilador `sizeof(int)` puede no ser 4.
- Suponiendo que sean 4 bytes, hay que escribir el número `0x41424344` byte a byte y el orden dependera del endianess: `"ABCD"` en big endian, `"DCBA"` en little endian.

Buffer overflow

- Funciones inseguras que no ponen un límite en el tamaño del buffer que usan. No usarlas!

```
gets(buf);
strcpy(dst, src);
```

- Reemplazarlas por funciones que sí permiten definir un límite, pero es responsabilidad del programador poner un valor coherente!

```
getline(buf, max_buf_size, stream);
strncpy(dst, src, max_dst_size);
```


Challenge: hacer que el programa imprima "You win!"

```
// compilar con flags:
//  -Wno-deprecated-declarations -std=c++11 -fno-stack-protector
#include <cstdio>

int main(int argc, char *argv[]) {
    int cookie = 0;
    char buf[10];

    printf("buf: %08x cookie: %08x\n", buf, &cookie);
    gets(buf);

    if (cookie == 0x41424344) {
        printf("You loose!\n");
    }

    return 0;
} // Insecure Programming
```


Como leer la bizarra notación de punteros en C/C++

```
/* Ejemplo 1 */
char *a[10];
      a        // "a"
     *a        // "a" apunta a
char *a        // "a" apunta a char
char *a[10];   // "a" apunta a char (10 de esos)

char *a[10];   // "a" es un array de 10 de esos, o sea
               // "a" es un array de 10 punteros a char

```


Como leer la bizarra notación de punteros en C/C++

```
/* Ejemplo 2 */
char (*c)[10];
       c       // "c"
      *c       // "c" apunta a
     (*c) == X // llamemos "X" a (*c) temporalmente

char X[10];
char X[10];    // "X" es un char (10 de esos)

char X[10];    // "X" es un array de 10 char
char (*c)[10]; // "c" apunta a un array de 10 char

```


Como leer la bizarra notación de punteros en C/C++

```
/* Ejemplo 3: modo dios */
char (*f)(int)[10];
       f            // "f"
      *f            // "f" apunta a
     (*f) == X

char X(int)[10];
char X(int)         // es la firma de una funcion,
                    // asi que vuelvo un paso para atras
char (*f)(int)      // entonces esto es un puntero a funcion
                    // cuya firma recibe un int y retorna
                    // un char

char (*f)(int)[10]; // puntero a funcion, 10 de esos
char (*f)(int)[10]; // f es un array de 10 punteros a funcion,
                    // que reciben un int y retornan un chars

```


Simplificando la notación

```
        char *X[10];   // la variable "X" es un array de
                       // 10 punteros a char
```

```
typedef char *X[10];   // el tipo "X" es un array de
                       // 10 punteros a char

X my_array;            // es una alias, decir "X" es como decir
char *my_array[10];    // "array de 10 punteros a char"
```

Simplificando la notación

Si quiero una variable que sea un array de punteros a función que no reciban ni retornen nada?

```
1       void (*X)();    // la variable "X" es un puntero a
2                       // funcion
```

```
1  typedef void (*X)();    // el tipo "X" es un puntero a
2                          // funcion
3
4  X f[10];                // f es una array de 10 X, entonces
5                          // f es una array de 10 punteros
6                          // a funcion
```


Appendix

Referencias

Referencias i

- Bjarne Stroustrup.
  The C++ Programming Language.
  Addison Wesley, Fourth Edition.
- man page: gets strcpy htons qsort
- Insecure Programming
- https://cdecl.org/
- https://www.youtube.com/watch?v=tas0O586t80