**Arquitecturas de las Computadoras**

**TP3 - Assembler y C**

# Introducción

Todo programa que corra en una computadora, tiene que estar en un lenguaje que ésta entienda; en código de máquina. El código de máquina hace uso de los registros del procesador, del stack, de las interrupciones, etc. Así que un programa escrito en C, en Assembler, COBOL, Pascal, Ada, etc; a fin de cuentas termina en código de máquina, lo que implica es que siempre se puede hacer una interface para conectar los lenguajes entre sí. En particular, cómo entre código de máquina y Assembler hay una relación de biyectiva, es fácil conectar este lenguaje con cualquier otro, ya que con Assembler hay que respetar el funcionamiento interno del otro lenguaje para poder interactuar.

Es interesante poder hacer una interface con Assembler ya que éste tiene control directo sobre las operaciones del procesador. No como los lenguajes de propósito general que se abstraen de la arquitectura. Con este lenguaje se pueden deshabilitar las interrupciones, habilitar modo protegido, cambiar la dirección del directorio de páginas, modificar el stack pointer, etc.

El lenguaje C es por excelencia el lenguaje de elección para el desarrollo básico de un sistema operativo. Por su bajo nivel, versatilidad, manejo de memoria y su independencia de servicios que necesitan otros lenguajes. Otros lenguajes de programación de más alto nivel, por ejemplo C++, necesitan configuraciones especiales para funcionar.

La convención de cómo realizar las llamadas entre distintos lenguajes, cómo se reserva espacio para las variables, cómo se alinean los datos, etc; es parte de la ***Application Binary Interface (ABI)***

# Llamadas de Assembler a C

Este camino es el más fácil de entender. Si recordamos que al final de cuentas, una función en C es una dirección de memoria, no debería ser difícil hacer una llamada desde ASM a C. Vamos a utilizar el programa ***nasm***para compilar los archivos en asm, ***gcc*** para compilar los archivos en C y también para linkeditarlos entre sí y contra la biblioteca estándar de C.

##### Ejemplo 1

Escribir una función en C que imprima por pantalla “Hola Mundo”. Luego, escribir una función en ASM que llame a dicha función

|  |
| --- |
| ; main.asm GLOBAL main EXTERN hello\_world  section .text  main:  call hello\_world    mov eax, 1 ; systemcall **exit**()  mov ebx, 0 ; parametro para **exit**()  int 80h |

|  |
| --- |
| *//hello.c* **#include <stdio.h>**  **void** **hello\_world**();  **void** **hello\_world**() {  printf ("Hello World!\n"); } |

Para compilar y correr los archivos anteriores correr las siguientes líneas:

|  |
| --- |
| **$**> nasm -f elf32 main.asm **$**> gcc -c -m32 hello.c **$**> gcc -m32 main.o hello.o -o hello **$**> ./hello |

La directiva **-f elf32** le indica a *nasm* que genere un archivo objeto con formato *elf (executable linux format)* para una arquitectura de 32 bits. Algo equivalente hace la directiva ***-m32.*** Si no se especifica esto, el formato default es el de la máquina actual.

Note que ahora, en lugar de utilizar la etiqueta *\_start* ahora se utiliza la etiqueta *main.* Esto es porque la biblioteca de C ya tiene una etiqueta de entrada, que configura el sistema para luego llamar a nuestro main.

**Pregunta:** Ya que ahora estamos en un entorno de C, ¿De qué otra forma se podría haber terminado el programa?

##### Ejemplo 2

En este ejemplo, vamos a pasar un valor a su representación en ASCII numérica.

Recordar cómo es el pasaje de pasaje de parámetros en C, por Stack en 32 bits:

Si una función tiene la siguiente forma:

|  |
| --- |
| **int** **fnc**(arg1, arg2, arg3); |

Entonces, los argumentos se pasan de derecha a izquierda, de tal forma, que el primer argumento, sea el primero en el stack. Es decir, primero **arg3**, luego **arg2** y por último **arg1**. Luego, el resultado de dicha función se devuelve por el registro eax.

La función de C *sprintf* escribe un string con formato en un stream, tiene el siguiente prototipo:

|  |
| --- |
| **int** **sprintf**(**char** \*str, **const** **char** \*fmt, ...); |

Esto quiere decir que para llamar a esta función, primero será necesario pushear al stack los argumentos variables, luego la cadena de formato (que le indicará a la función cómo levantar la información) y por último el destino. Luego, se llama a la función *puts* que imprime por pantalla una cadena.

|  |
| --- |
| **int** **puts**(**const** **char** \*str); |

Código:

|  |
| --- |
| *;main.asm* **GLOBAL** main **EXTERN** puts, sprintf  **section** .rodata fmt db "%d", 0 number dd 123456790  **section** .text main:  **push** dword [number]  **push** fmt  **push** buffer   **call** sprintf   **add** esp, 3\*4   **push** buffer  **call** puts   **add** esp, 4  **ret**  **section** .bss buffer resb 40 |

Para compilar este código, simplemente hay que correr las siguientes líneas:

|  |
| --- |
| **$**> nasm -f elf32 main.asm **$**> gcc -m32 main.o -o main **$**> ./main |

**Preguntas:**

* ¿Porqué se le suma al stack, luego de llamar a la función sprintf, 12 bytes? ¿Porque se hace lo mismo luego de llamar a puts?
* ¿Cual es el valor de retorno de la función *main?*

## 

# Registros a preservar entre llamadas

Entre llamadas de C, hay ciertos registros que las funciones deben preservar para no afectar el funcionamiento de otras funciones. Las funciones que llaman deben tener en cuenta que registros pueden cambiar, de tal forma de hacer un backup antes de llamarlas.

Los registros a preservar entre las llamadas de las funciones son:

* ebx
* esi
* edi
* ebp
* esp

Es decir, cuando una función termina, debe dejar exactamente los registros anteriores como los recibió.

# Stack Frame

Es parte de la ABI de C, cuando se entra a una función, armar esta estructura. Su función es preservar los registros de stack y proveer un sistema estándar de acceso a los parámetros de dicha función.

Con este sistema, la el stack queda de la siguiente forma:

|  |  |
| --- | --- |
| EBP | EBP del contexto anterior |
| EBP + 4 | Dirección de Retorno |
| EBP + 8 | Primer argumento |
| EBP + 12 | Segundo argumento |
| EBP + (n+1)\*4 | n-esimo argumento |

En C *main* es una función que tiene el siguiente prototipo

|  |
| --- |
| **int** **main**(**int** argc, **char** \*argv[]); |

El *program loader*, además de configurar algunas cosas, pasa como parámetro de dicha función los argumentos del programa. Entonces se pueden acceder de la siguiente forma:

|  |
| --- |
| *;main.asm* **GLOBAL** main **EXTERN** printf  **section** .rodata fmt db "Cantidad de argumentos: %d\n", 0  **section** .text main:  **push** ebp *; Armado de stack frame*  **mov** ebp, esp *;*   **push** dword [ebp+8]  **push** fmt  **call** printf  **add** esp, 2\*4    **mov** eax, 0    **mov** esp, ebp *; Desarmado de stack frame*  **pop** ebp  **ret** |

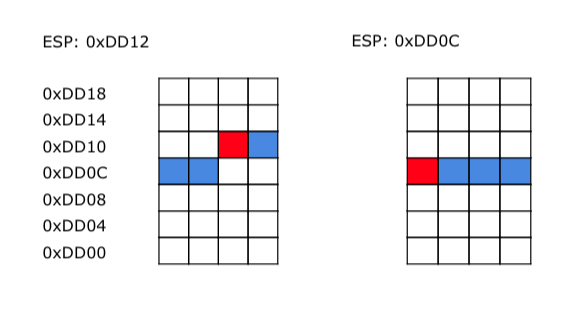
##### Ejercicio 1

Modificar el ejemplo anterior, para que además de imprimir la cantidad de argumentos, imprima cada uno de los argumentos.

## 

# Alineamiamiento a palabra

El procesador cada vez que accede a memoria, lo hace leyendo y escribiendo siempre 4 bytes (el tamaño de la palabra en una arquitectura x86).



Cuando el procesador accede a un dato des-alineado, debe hacer dos lecturas, una para pedir la primer porción de los datos, y otra para la segunda porción; es decir, dos accesos. Para la escritura requiere más operaciones, ya que debe leer de memoria para salvar el dato que no va a sobreescribir, luego combinarlo con el dato que si va a escribir para la primera porción, y luego recuperar el dato de la segunda porción para escribir la segunda porción.

Una forma muy fácil de arreglar este problema, es negar los últimos 4 bits. Cómo el stack crece hacia menores valores de esp, seguro esa posición va a estar por detrás del puntero actual. De esta forma se puede hacer un acceso a memoria más eficiente.

|  |
| --- |
| **GLOBAL** main  **ALIGN** 4  main:  **push** ebp  **mov** ebp, esp    *; declaración de variables*     **and** esp, -16    *; ... programa*   **mov** esp, ebp  **pop** ebp  **ret** |

Responder: ¿Cual es la representación de -16 en hexadecimal?

##### Ejercicio 2

Escriba un programa en C, que realice lo mismo que el ejercicio anterior (imprimir por salida estándar la cantidad de argumentos del programa),

|  |
| --- |
| Dar formato a la celda: borde  Dar formato a la tabla: alineación  A partir del documento importado  ￼  ￼  14:59 Hoy  ￼￼  Dar formato a la celda: borde  Dar formato a la tabla: alineación  A partir del documento importado  ￼  14:59 Hoy  ￼￼  Dar formato a la celda: borde  Dar formato a la tabla: alineación  A partir del documento importado |

Compilarlo con el siguiente comando (que elimina un montón de elementos de control de gcc):

|  |
| --- |
| $> gcc -**c** arguments.**c** -m32 -fno-dwarf2-cfi-**asm** -fno-exceptions -S -fno-asynchronous-**unwind**-tables -masm=intel |

Compare la salida del archivo *arguments.s* con el ejemplo provisto en ASM. Más allá de los elementos de control, ¿Que diferencia encuentra? ¿Qué similitudes?

Para pensar: ¿Se imagina porque no se deben comparar las estructuras por valor, sinó por miembro por miembro? ¿Porqué habría *basura* entre sus componentes?

# Llamadas de C a Assembler

Este es el camino que tiene una aplicación más práctica. ¿Qué punto tiene programar en Assembler cuando se tiene un lenguaje eficiente, práctico y liviano? Salvo que exista una razón muy puntual; cómo que no exista un compilador; evitaremos programar en Assembler.

Nuevamente, las funciones a fin de cuentas son direcciones, así que es posible llamar funciones desde C hacia Assembler.

##### 

##### Ejemplo 4

Si no contamos con una biblioteca estándar que acceda a la API del SO para enviar o recibir información, debería ser implementado por nosotros. Ya vimos que hacer esto completamente en Assembler, ahora lo tendremos que hacer nosotros.

El PID (Process ID) es un número que utiliza Linux para identificar los procesos que están corriendo. Si se corre el comando **ps x**, se puede ver una lista de los procesos que están corriendo actualmente que son del usuario. Obviamente, como **ps** es un proceso, también aparece en la lista.

No hay ninguna función estándar que informe cual es el **pid** de un programa. Cómo es información que maneja el OS, habrá que pedírsela a él.

|  |
| --- |
| *//main.c* **#include<stdio.h>**  **unsigned** **int** **pid**();  **int** **main**(**int** argc, **char** \*argv[]) {  **int** mpid = pid();  printf("Process Id: %d\n", mpid);  **return** 0; } |

|  |
| --- |
| *; libasm.asm* **GLOBAL** pid  pid:  **push** ebp  **mov** ebp, esp   **mov** eax, 0x14 *; syscall getpid*  **int** 0x80  *; el resultado ya está en eax*    **mov** esp, ebp  **pop** ebp  **ret** |

Compilar y correr el código de ejemplo con las siguientes líneas:

|  |
| --- |
| **$**> nasm -f elf32 libasm.asm **$**> gcc -c -m32 main.c **$**> gcc -m32 main.o libasm.o -o pid **$**> ./pid |

Ejecútelo varias veces para comprobar que el **pid** va en aumento.

Compile el archivo *main.c* de tal forma de obtener su salida en Assembler, compruebe que efectivamente se hace una llamada a la función **pid()** mediante la línea.

|  |
| --- |
| call pid |

Para que C sepa de qué forma, con que argumentos y con qué tipo de retorno se va a llamar a una función, es necesario especificar su prototipo, por eso se escribió antes de main la línea:

|  |
| --- |
| **unsigned** **int** **pid**(); |

Esto le indica al compilador que no tiene que chequear, ni mandar argumentos a pid para invocarla, y que luego, el tipo de datos que tendrá en *eax* será de tipo *int* sin signo. Recordar que en ASM no hay tipo de datos!

# Recepción de Parámetros

También es necesario poder acceder a los argumentos de las funciones, por ejemplo si se implementara la función puts en una biblioteca de funciones, sería algo equivalente a:

|  |
| --- |
| /libc.c **#define STDOUT 1**  **int** **sys\_write**(**int** fd, **void** \*buffer, **int** size);  **int** **puts**(**const** **char**\* str) {  **int** len = strlen(str);  **return** sys\_write(STDOUT, (**void** \*) str, len); } |

Y la implementación de la función sys\_write podría ser algo cómo:

|  |
| --- |
| *; libasm.asm* |

##### Ejercicio 3

Realice una implementación para cumplir con el ejemplo. Utilice la directiva ***-fno-builtin*** para indicarle a C que no debe linkeditar contra la biblioteca estándar.

## 

# Variables

Hasta ahora, siempre que hizo falta reservamos espacio en la zona de datos de un programa. Por ejemplo, para guardar una variable. Pero, ¿Qué ocurriría en el caso de que una función sea recursiva?

¿Cómo hace C a que las variables automáticas sólo vivan en el scope de la función? La respuesta es guardar esas variables en el stack, así, cuando un stack frame se destruye, al mismo tiempo se libera la memoria utilizada para sus variables.

**Ejemplo**

|  |
| --- |
| *//suma.c*  **int** **suma**(**int** a, **int** b) {  **int** resultado;  resultado = a + b;  **return** resultado; } |

Una posible salida en Assembler podría ser:

|  |
| --- |
| suma:  **push** ebp  **mov** ebp, esp    **sub** esp, 16 *; reservar espacio para las variables*  **mov** eax, DWORD PTR [ebp+12]  **mov** edx, DWORD PTR [ebp+8]  **add** eax, edx  **mov** [ebp-4], eax *; resultado*  **mov** eax, [ebp-4]    **leave** *; otra forma de desarmar el stack frame*  **ret** |

De esta forma, la variable resultado, existe únicamente para la función, no tiene visibilidad para una función externa.

Reponder:

* ¿Porqué no se debe devolver un arreglo local a una función cómo valor de retorno?
* ¿Porque restan 16 bytes de ESP y no simplemente 4?
* ¿Porqué luego, de haber obtenido el resultado de la suma, que queda en el registro EAX, se lo guarda en la zona de memoria asignada a la variable resultado y luego se la vuelve a leer de ese lugar?

##### Ejemplo 4

Genere la salida en Assembler con GCC de la siguiente función:

|  |
| --- |
| *//factorial.c* **int** **factorial**(**int** n) {  **if** (n == 0)  **return** 1;  **int** factorial\_n\_1 = factorial(n-1);  **return** n\*factorial\_n\_1; } |

Identifique a que dirección de memoria relativa corresponde la variable *factorial\_n\_1*.

Ahora es obvio que se puede llamar de manera recursiva, ya que cada invocación de la función tendrá su propia versión de dicha variable.

##### Ejercicio 5

Escriba una función en Assembler que retorne siempre el valor 7. Llamela con C y muestre por salida estándar dicho valor.

##### Ejercicio 6

Enumere las diferencias de declarar las variables y utilizarlas de las siguientes formas.

a.

|  |
| --- |
| *//variables1.c* **int** **foo**() {  **int** numero; } |

b.

|  |
| --- |
| *//variables2.c* **int** **foo**() {  **int** numero = 21; } |

c.

|  |
| --- |
| *//variables3.c* **int** numero; **int** **foo**() {  numero = 21; } |

d.

|  |
| --- |
| **int** **foo**() {  **static** **int** numero = 21; } |

e.

|  |
| --- |
| **extern** **int** numero; **int** **foo**() {  numero = 10; } |

|  |
| --- |
| int numero = 21; |

f.

|  |
| --- |
| **static** **int** numero = 10; **int** **foo**() {  numero = 20; } |

##### Ejercicio 7

Declare en una función de C, un arreglo de las siguientes formas:

* Sin inicializar
* Con inicialización (int numeros[20] = {0}, ó char msg[] = “mensaje”)
* Sin inicializar y luego realizando una escritura en el índice 10
* Con inicialización y luego realizando una escritura en el índice 10
* De manera global, sin inicializar
* De manera global inicializando.

Primero suponga cómo debería hacer C para su declaración, y luego compare sus suposiciones con la salida en assembler.

##### Ejercicio 8

Suponga que ud. está implementando la biblioteca estándar de C. Basándose en la guía anterior, prepare el contexto para llamar a la función inicial (main), y luego termine el programa con el valor de retorno que haya indicado la función main. Su *loader* debe utilizar la etiqueta *\_start*

##### Ejercicio 9

Cómo parte de la implementación de su biblioteca estándar de C, implemente las funciones que le permitan acceder al sistema operativo para:

* Cerrar un programa
* Leer de un file descriptor
* Escribir a un file descriptor (ya implementado)
* Abrir un archivo y cerrarlo

Lista de system calls: <http://docs.cs.up.ac.za/programming/asm/derick_tut/syscalls.html>, <http://syscalls.kernelgrok.com/>

Escriba un programa que haga uso de su nueva biblioteca para abra un archivo, imprima línea por línea con el número de línea a la derecha y luego lo cierre. Recuerde compilar con la directiva **-fno-builtin**

##### Ejercicio 10

Escriba un programa que imprima por salida estándar el fabricante del procesador. Investigue la función *cpuid* de assembler.

##### Ejercicio 11

1. Implemente la función en C fibonacci(n), que reciba un número, y devuelva el número de fibonacci que corresponda.
2. Compile a mano, una posible salida en assembler de dicho programa.
3. Comprube su resultado con el de haber generado el código con **gcc**
4. Haga un seguimiento, paso a paso, de la pila por cada instrucción de assembler ejecutada para un fibonacci de 3.

##### Ejercicio 12

Dado el siguiente programa:

|  |
| --- |
| *;ejemplo.s* main:  **push** ebp  **mov** ebp, esp  **and** esp, -16  **sub** esp, 32  **mov** DWORD PTR [esp+19], 1819043176  **mov** DWORD PTR [esp+23], 1870078063  **mov** DWORD PTR [esp+27], 174353522  **mov** BYTE PTR [esp+31], 0  **lea** eax, [esp+19]  **mov** DWORD PTR [esp], eax  **call** magia  **lea** eax, [esp+19]  **mov** DWORD PTR [esp], eax  **call** printf  **mov** eax, 0  **leave**  magia:  **push** ebp  **mov** ebp, esp   **sub** esp, 16  **jmp** .L4 .L6:  **mov** eax, DWORD PTR [ebp+8]  **movzx** eax, BYTE PTR [eax]  **cmp** al, 96  **jle** .L5  **mov** eax, DWORD PTR [ebp+8]  **movzx** eax, BYTE PTR [eax]  **cmp** al, 122  **jg** .L5  **mov** eax, DWORD PTR [ebp+8]  **movzx** eax, BYTE PTR [eax]  **mov** BYTE PTR [ebp-1], al  **movzx** eax, BYTE PTR [ebp-1]  **sub** eax, 32  **mov** BYTE PTR [ebp-1], al  3**mov** eax, DWORD PTR [ebp+8]  **movzx** edx, BYTE PTR [ebp-1]  **mov** BYTE PTR [eax], dl .L5:  **add** DWORD PTR [ebp+8], 1 .L4:  **mov** eax, DWORD PTR [ebp+8]  **movzx** eax, BYTE PTR [eax]  **test** al, al  **jne** .L6  **leave**  **ret** |

Indique lo que está haciendo, haga un seguimiento de la pila.

##### Ejercicio 13

Deduzca cómo se pasan las estructuras entre funciones, ¿Que diferencia hay entre pasar una estructura por referencia o por copia? ¿Cómo es el retorno?

# 

# x86\_64 ABI

Hasta ahora trabajamos con la ABI de 32 bits de C y Assembler. Básicamente los conceptos son los mismos, lo único que cambia es el pasaje de parámetros.

El pasaje de parámetros de realiza de la siguiente forma:

* Se cargan los argumentos en los registros
* Se llama a la función
* Los argumentos se copian al stack y se referencian desde ahí.

Clasificación:

Los argumentos se clasifican de la siguiente forma:

* INTEGER: char, short, int, long, long long y punteros
* SSE: floats y doubles
* MEMORY: datos mayores a un quadword (8 bytes) y datos desalineados

Y se pasan de la siguiente forma:

Si el dato es INTEGER,

se van ocupando los registros rdi, rsi, rdx, rcx, r8 y r9 en orden

Si el dato es SSE,

se van ocupando los registros xmm0 a xmm7 en orden

Si el dato es MEMORY, se pasan por stack y devuelven por stack, de izquierda a derecha (igual que en 32 bits)

Para devolver los valores,

Si el dato es INTEGER,

se utiliza rax y rdx

Si el dato es SSE,

se retorna por xmm0 y xmm1

Los registros a preservar son:

* rbp
* rsp
* rbx
* r12
* r13
* r15

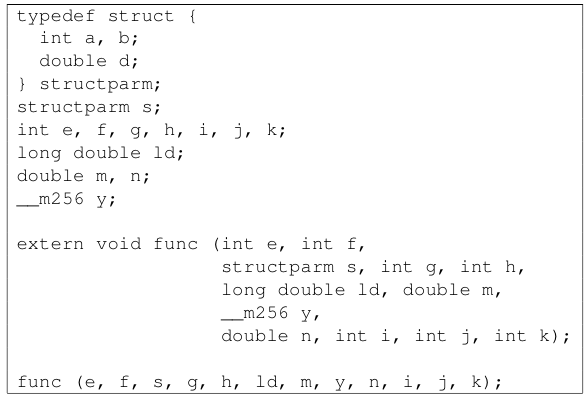
Esto implica que hay funciones que aunque tengan distinto prototipo, tienen la misma forma de pasar parámetros, por ejemplo las funciones

|  |
| --- |
| **int** **foo**(**int** arg1, **double** arg2); |

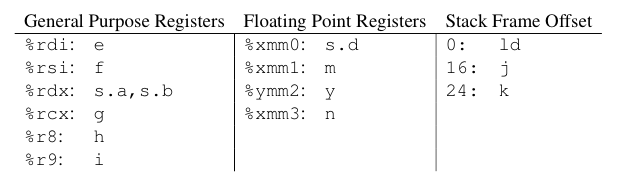
tiene el mismo prototipo que la función:

|  |
| --- |
| **int** **bar**(**double** arg2, **int** arg1); |

En síntesis:



Los registros van a quedar de la siguiente forma:



##### Ejercicio 14

Realice los ejercicios de pasaje de parámetros, pero esta vez en 64 bits.

Para compilar, reemplazar los argumentos **elf32** por **elf64** de **nasm** y **-m32** por **-m64** en gcc.

##### Ejercicios de debugging

Tome los archivos Ejxx y Ejyy disponibles en el campus, estos son programas assembler que usan funciones de librería estandard de C. Compile estos programas en 32 bits.

El programa Ejxx debiera imprimir todos los argumentos que recibe. Ejecute el programa Ejxx con y sin argumentos. Verá que cuando recibe argumentos el programa cancela. Diagnostique el problema y solucione el código.

EL Ejyy debiera imprimir el número 1234567890 pero también falla.

Diagnostique el problema y solucione el código.