Herramientas de desarrollo de software embebido

Sistemas embebidos para tiempo real

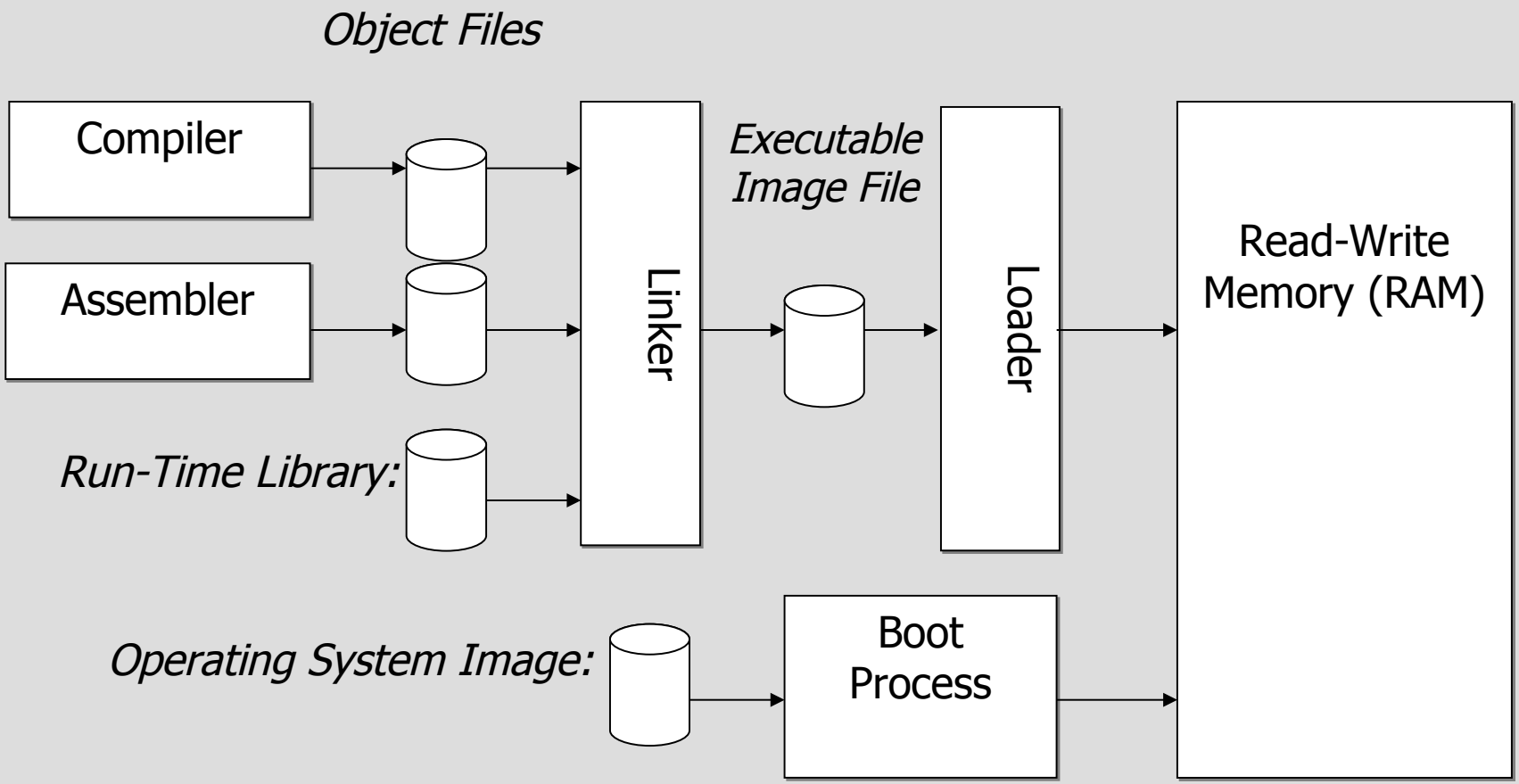
Objetivos

- Proceso de compilación de una aplicación
  - Compilación, linker/locator
  - Diferencias entre compiladores nativos y embebidos (cruzados).
- Inicialización de datos y arranque de programa
- Cargado de programa

Herramientas de desarrollo

- Conceptos (repaso):
  - *tool chain*
    - herramientas (compilador, ensamblador, etc.) compatibles
  - herramientas nativas (*native tools*)
    - Crea programas que corren en la computadora que se compila.
  - *host* (donde se desarrolla) vs. *target* (destino)
  - “compilador cruzado” (cross-compiler)
    - Compilador en *host* produce instrucciones binarias *target*.

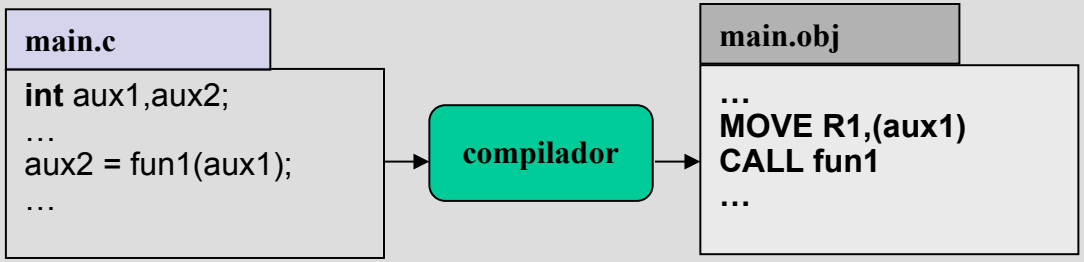
Proceso de creación y cargado:
programa de aplicación de escritorio



Fuente: Daniel W. Lewis, “Fundamentals of Embedded Software”

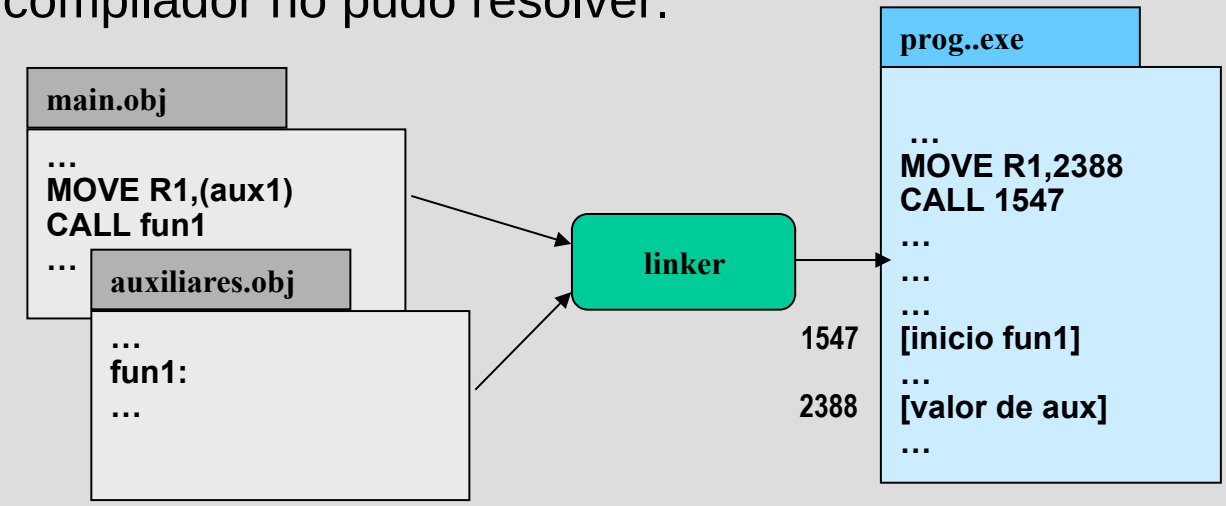
Compilador

- Traduce código fuente en lenguaje C a instrucciones de máquina generando un archivo objeto (unidad de compilación)



Enlazador (Linker)

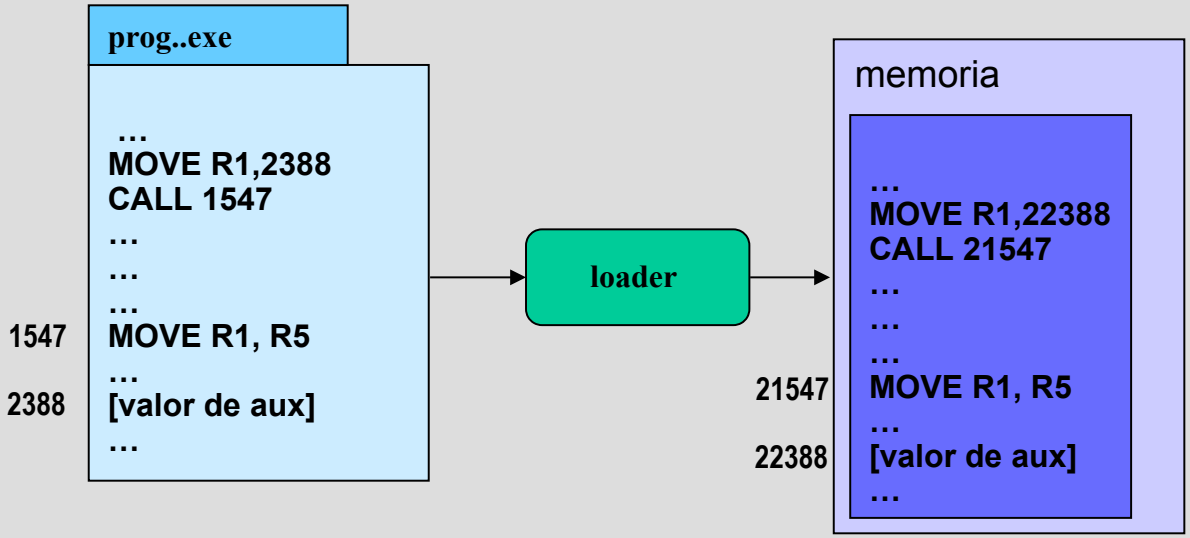
- “Junta” todos los archivos, resolviendo las referencias entre los archivos objetos
  - Determina las direcciones de las etiquetas que el compilador no pudo resolver.



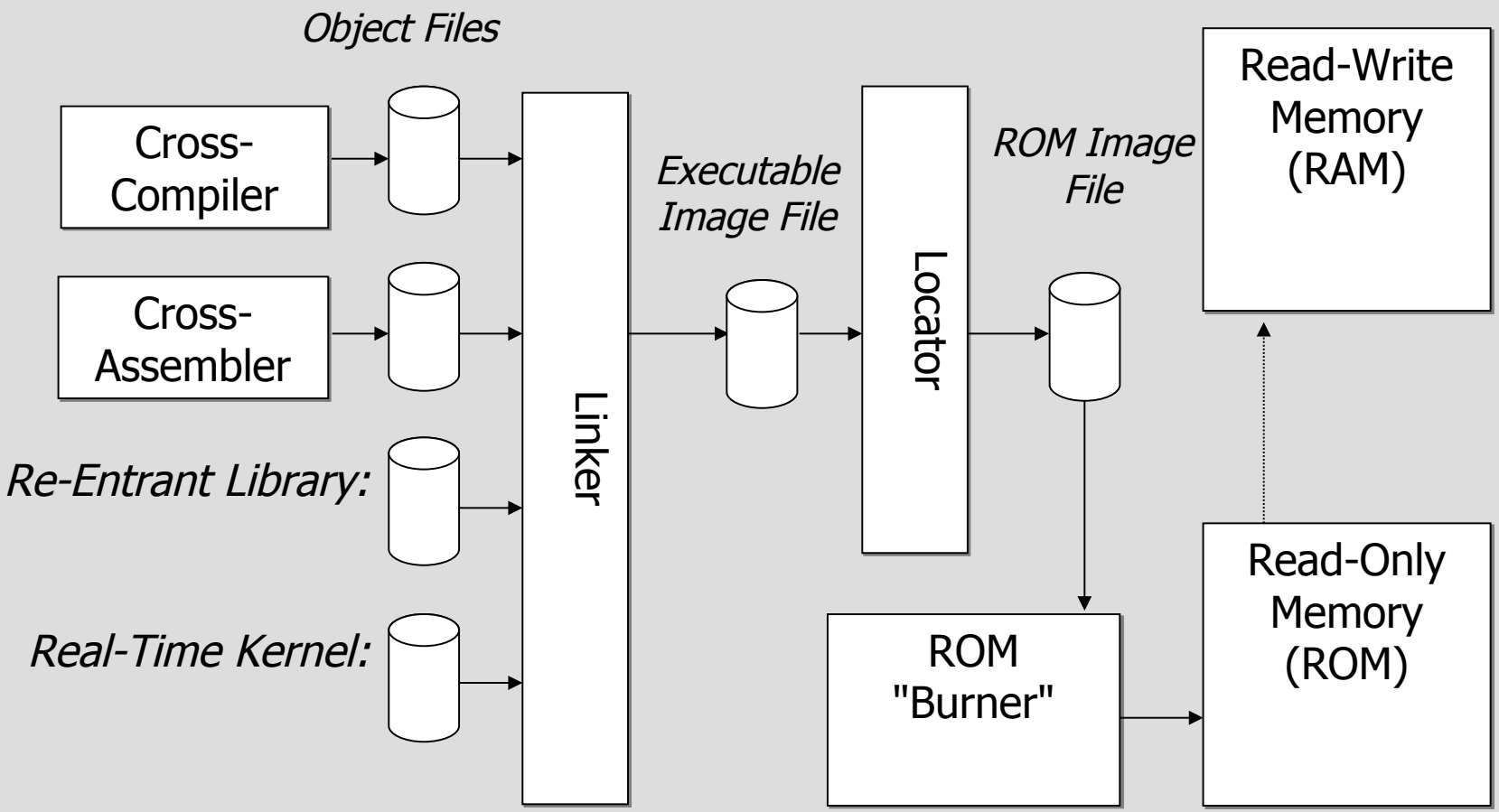
  - Por ejemplo: funciones y variables externas (`extern`) definidas en otros archivos.

Loader

- Ajusta las direcciones de memoria absolutas del código y de los datos en función de la dirección de base
  - Obs: cada vez pude ser cargado en diferentes regiones de memoria



Proceso de creación y cargado:
programa de aplicación embebido



Fuente: Daniel W. Lewis, "Fundamentals of Embedded Software"

Linker → Archivos Objeto

- ELF: Executable and Linking Format
  - Formato de código objeto ampliamente usado.
- Tipos de archivo objeto:
  - *ejecutable (executable file)*:
    - describe el programa para su ejecución
  - *objeto compartido (shared object file)*:
    - describe código y datos para *static* y *dynamic linking*
  - *relocalizable (relocatable file)*:
    - describe código y datos para *linking* con otros archivos, para crear un ejecutable o un objeto compartido.

(NO) Portabilidad de binarios

- Intrínseco de la compilación a código máquina (directamente ejecutable):
  - compiladores nativos y compiladores-cruzados
- Ejemplo de compilador nativo:
  - Pensar que un programa en C compila en cierta plataforma (hardware y sistema operativo).
  - ¿Qué problemas se tienen al cambiar de plataforma?
- Ejemplo de compiladores-cruzados:
  - Pensar que se compila para un microcontrolador dado...
  - ¿Qué problemas se tienen al cambiar de microcontrolador?

Locator

- Funcionalidad muy distinta a la del *loader*
  - Determina la imagen final en memoria del programa
    - No existe un proceso similar al correspondiente del *loader*
  - Es posible crear la imagen final porque:
    - Es el único programa en memoria, no existen conflictos por recursos.
    - Es posible determinar la dirección final de todo, incluyendo el kernel (si lo hubiera) y las funciones de biblioteca.
- Es posible indicar la ubicación en memoria
  - Datos, código.
  - RAM, ROM

Memorias (breve paréntesis)

- Volatilidad: incapacidad de retener data sin energía
  - Ejemplos:
    - Volátil: DRAM, SRAM.
    - No volátil: ROM, PROM, EPROM, EEPROM, Flash, y más recientemente MRAM, FeRAM o F-RAM.
- Read-write: capacidad de lectura/escritura
  - Ejemplos:
    - Read-only: ROM, PROM
    - Read-write: SRAM, DRAM
    - Depende: Flash, FeRAM
- Acceso
  - Ejemplos
    - Random-access memory (RAM): acceso aleatorio a posiciones arbitrarias (igual tiempo de acceso)
    - Secuencial

Actividad en grupo

- Inicialización de variables estáticas
  - Actividad:
    1) ¿cuándo se inicializan las variables estáticas?
    2) Reflexionar y describir (en palabras) la ejecución del código desde un reset
    (se puede tomar como ejemplo el código solución de la slide siguiente)
  - Grupos:
    - 3 a 5 estudiantes
  - Tiempo:
    - 5 minutos

Modularización (solución actividad en slides de C)

com.h

```
void set_default_channel(int ch);
void load_default_channel();
void set_channel(int ch);
int read_channel();
```

main.c

```
#include "com.h"
#define N 10
int buf[N];

int main (void){
    int i;
    int channel=1;
    set_default_channel(channel);
    set_channel(2);
    for(i=1;i<N;i++){
      buf[i] = read_channel();
    }
}
```

com.c

```
#include "com.h"

static int default_channel = 1;
static int current_channel;

void set_default_channel(int ch){
    default_channel = ch;
}
void load_default_channel(){
    current_channel = default_channel;
}
void set_channel(int ch){
    current_channel = ch;
}
int read_channel(){
    current_channel = default_channel;
    return current_channel
}
```

Inicialización de datos

- Requerimientos:
  - Variable (modificable en ejecución) → read-write
  - Valor inicial (persistente entre reset) → no volátil
- Problema:
  - Valor inicial debe ser copiado al arranque (*startup*)
  - No hay *loader* → la aplicación debe hacerlo
- Solución:
  - *Linker/Locator* → automáticamente incluye código de startup
  - Startup code: copia valores iniciales (“shadow”) de mem no volátil (ej. Flash) a read-write (ej. SRAM)

Inicialización

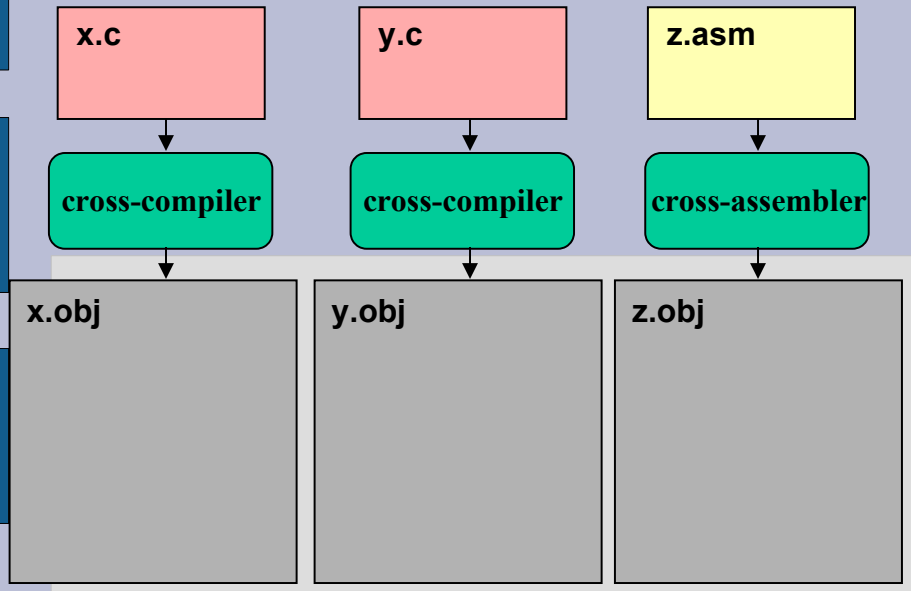
- Lenguaje C especifica sobre variables estáticas no inicializadas:

```
int i; //se debe inicializar en cero
```

- Requerimientos
  - variable (modificable) → read-write
  - valor inicial → cero
- Solución:
  - Se realiza un “memset” a cero (startup code)
- Startup code:
  - Inicialización de hardware
  - Inicialización de variables estáticas (en cero o valor inicial)
  - Llamado del main

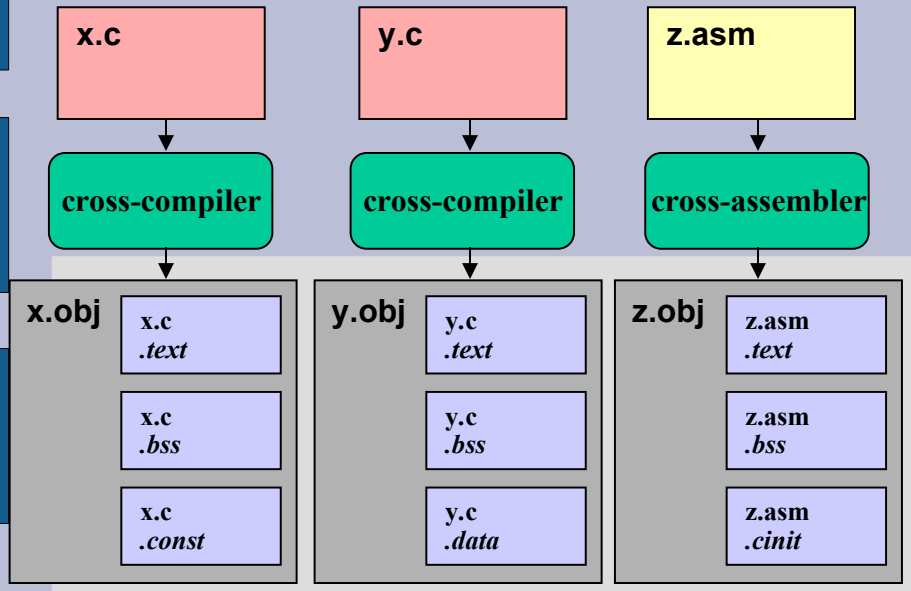
Ubicación de datos en memoria

- Tener en cuenta:
  - Datos persistentes necesitan estar en NVM (non-volatile memory).
  - Datos modificables necesitan estar en RAM.
- ¿Como sabe el linker/locator dónde poner cada cosa?
  - El programa se organiza en *segmentos* que son tratados independientemente.
- Segmentos
  - Compilador: crea entidades lógicas conteniendo código o datos
  - Linker: agrupa segmentos de diferentes códigos objeto.
  - Locator: mapea los segmentos en una ubicación física de memoria



Ejemplo

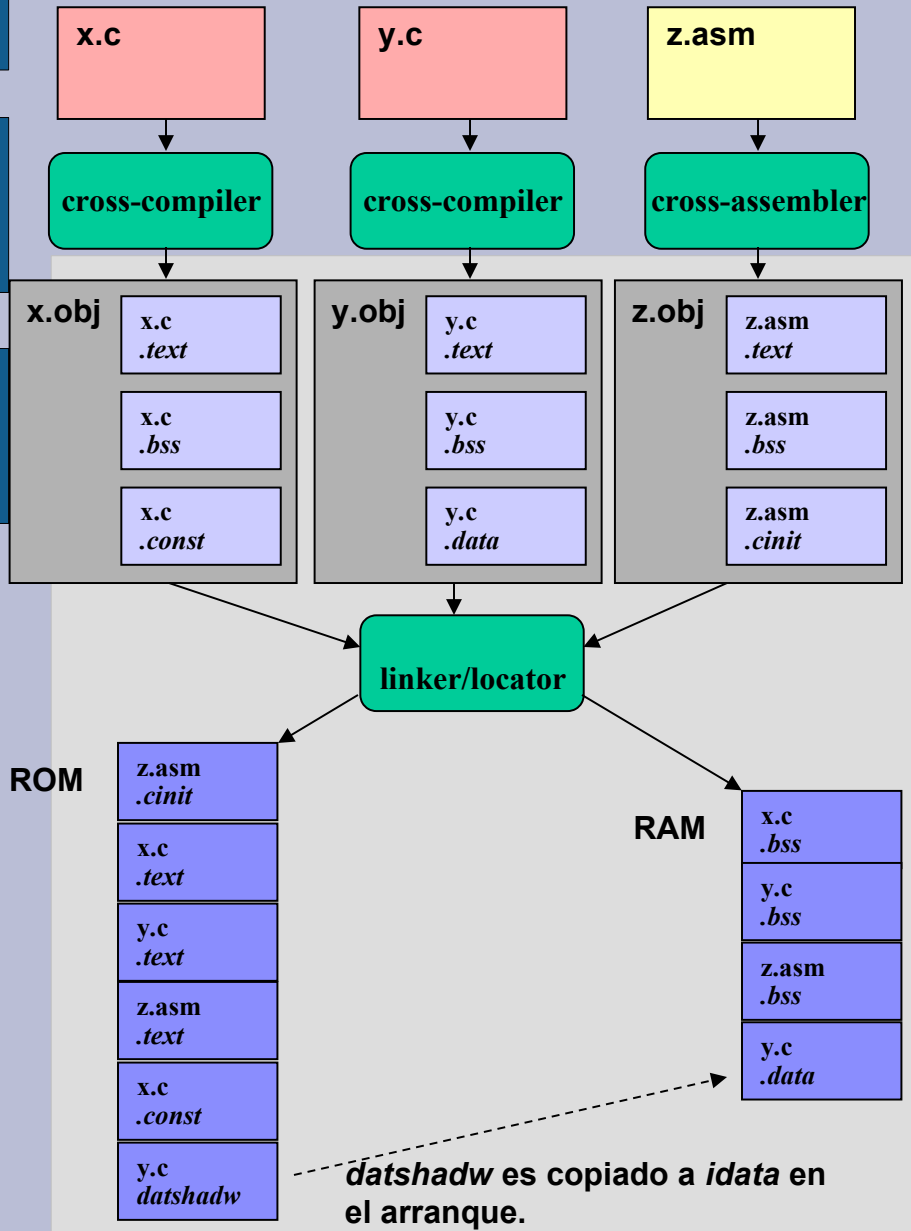
- Módulos:
  - x.c
    - Instrucciones
    - Datos sin inicializar
    - Constantes strings.
  - y.c
    - Instrucciones
    - Datos inicializados y sin inicializar
  - z.asm
    - Funciones en asm
    - Datos sin inicializar
    - Código de arranque (start-up code)



Ejemplo

- Cross-compiler
  - divide archivo fuente en segmentos
  - directivas al cross-comp
    - #pragma
- Segmentos:
  - **.text**: código ejecutable
  - **.bss:** datos sin inicializar
  - **.data**: datos inicializados
  - **.const**: constantes (incluye strings)
  - **.cinit**: código de arranque (start-up)
  - **.stack**: stack
  - Hay otros segmentos...

Ejemplo



- Segmentos
  - **.text**: código ejecutable
  - **.bss:** datos sin inicializar
  - **.data**: datos inicializados
  - **.const**: constantes (incluye strings)
  - **.cinit**: código de arranque (start-up)
- Linker/locator
  - "compagina" segmentos
  - cinit copia **datshadw** a *.data* en el arranque, así tengo en RAM las variables siempre inicializadas en el mismo valor

Locator maps

- Mapa:
  - Salida adicional del *locator*
  - Usualmente en archivo *.map
- Resumen:
  - Ubicación del código, variables, etc. en los diferentes segmentos.
- Vemos juntos el locator.map generado por el CCS para un MSP430

Ejemplo de otro compilador IAR C/C++

- Tipos de segmentos
  - CODE: código ejecutable
  - CONST: datos ubicados en ROM
  - DATA: datos ubicados en RAM
- Nomenclatura: nombrebase_sufijo
  - Nombre base
    - Por ejemplo: DATA16 (MSP430), NEAR (AVR)
  - Sufijo (categoría):
    - Datos no inicializados: N
    - Datos inicializados a cero: Z
    - Datos inicializados non-cero: I
    - Inicializadores para el anterior: ID
    - Constantes: C

Locator maps

- Mapa:
  - salida adicional del *locator*
  - usualmente *.map
- Resumen:
  - ubicación del código, variables, etc. en los diferentes segmentos.

```
                ****************************************
                *                                      *
                *            CROSS REFERENCE           *
                *                                      *
                ****************************************

       Program entry at :  020A  Relocatable, from module : ?cstart


                ****************************************
                *                                      *
                *               MODULE MAP             *
                *                                      *
                ****************************************

  DEFINED ABSOLUTE ENTRIES
    ******************************************************************

  DEFINED ABSOLUTE ENTRIES
  PROGRAM MODULE, NAME : ?ABS_ENTRY_MOD

Absolute parts
           ENTRY                    ADDRESS         REF BY
           =====                    =======         ======
           _HEAP_SIZE               0050
           _STACK_SIZE              0050
    ********************************************************************

  FILE NAME : C:\temp\Debug\Obj\segment.r43
  PROGRAM MODULE, NAME : segment

  SEGMENTS IN THE MODULE
  ======================
DATA16_C
  Relative segment, address: 025C - 0265 (0xa bytes), align: 0
  Segment part 2.              Intra module refs:    str1
    ----------------------------------------------------------------
DATA16_C
  Relative segment, address: 025A - 025B (0x2 bytes), align: 1
  Segment part 3.              Intra module refs:    main
           ENTRY                    ADDRESS         REF BY
           =====                    =======         ======
           str1                     025A
    ----------------------------------------------------------------
DATA16_Z
  Relative segment, address: 0200 - 0209 (0xa bytes), align: 0
  Segment part 4.              Intra module refs:    main
           ENTRY                    ADDRESS         REF BY
           =====                    =======         ======
           str2                     0200
    ----------------------------------------------------------------
CODE
  Relative segment, address: 0222 - 023D (0x1c bytes), align: 1
  Segment part 5.
           ENTRY                    ADDRESS         REF BY
           =====                    =======         ======
           main                     0222            Segment part 12
               stack 1 = 00000000 ( 00000002 )

    ****************************************************************
```

Ejemplos

ejemplo.c

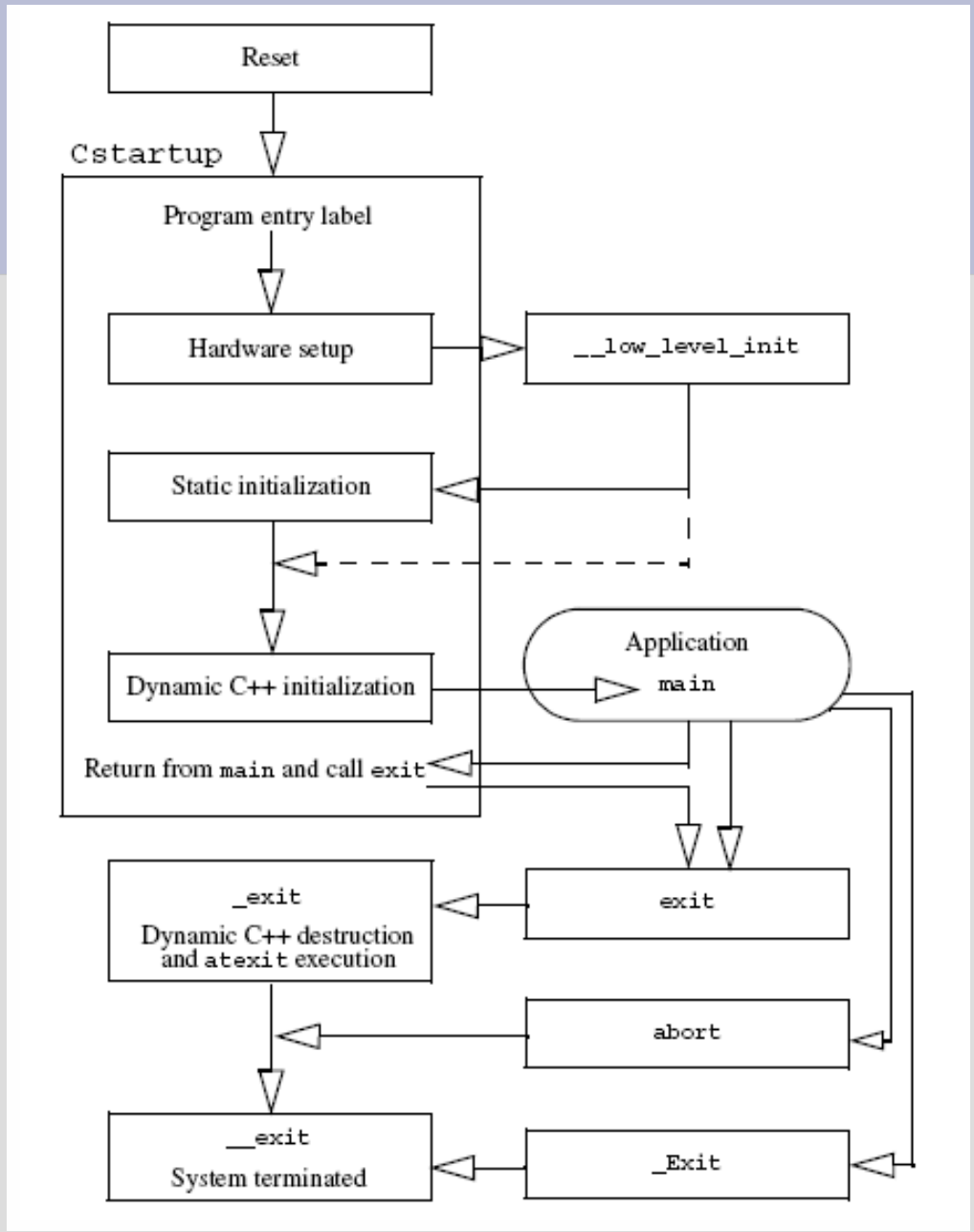
```
...
...
int i;


int j = 4;
...
...
```

Variables que son inicializadas a cero son ubicadas en el segmento **DATA16_Z**

Variables inicializadas a valores distintos de cero son ubicadas en el segmento **DATA16_I** y un segmento de inicialización en **DATA16_ID.**

Compilador IAR C/C++

- Segmento CSTART contiene código para:
  - arranque (cstartup)
  - terminación (cexit).



Otros temas de inicialización

- Constantes strings:

```
char *sMsg = “Hola chau”;
```

  - ¿Dónde se guarda esta constante?
  - ¿Qué pasa si modificamos este string?
    - Nota: es válido en C
- Compiladores pueden decir en función de:
  - si es declarado constante:

```
char* const
```

  - si es modificado o no en el código

Ejemplo

ej-string.c

```
char* const str1 = "Hola chau";
char str2[10];

int main( void )
{
  char* c1;
  char* c2;
  c1=str1;
  c2=str2;
  for(;*c1!=0;c1++,c2++)
    *c2 = *c1;
}
```

```
 SEGMENTS IN THE MODULE
  ======================
DATA16_C
  Relative segment, address: 025C - 0265 (0xa bytes), align: 0
  Segment part 2.              Intra module refs:   str1

------------------------------------------------------------
DATA16_C
  Relative segment, address: 025A - 025B (0x2 bytes), align: 1
  Segment part 3.              Intra module refs:    main
           ENTRY                     ADDRESS          REF BY
           str1                      025A
------------------------------------------------------------
DATA16_Z
  Relative segment, address: 0200 - 0209 (0xa bytes), align: 0
  Segment part 4.              Intra module refs:    main
           ENTRY                     ADDRESS          REF BY
           str2                      0200
------------------------------------------------------------
CODE
  Relative segment, address: 0222 - 023D (0x1c bytes), align: 1
  Segment part 5.
           ENTRY                   ADDRESS          REF BY
           main                    0222      Seg. part 12 (?cstart)
               stack 1 = 00000000 ( 00000002 )
```

Ejemplo

ej-string.c

```
char* str1 = "Hola chau";
char str2[10];

int main( void )
{
  char* c1;
  char* c2;
  c1=str1;
  c2=str2;
  for(;*c1!=0;c1++,c2++)
    *c2 = *c1;
}
```

```
 SEGMENTS IN THE MODULE
  ======================
DATA16_I
  Relative segment, address: 0200 - 0201 (0x2 bytes), align: 1
  Segment part 3.              Intra module refs:    main
           ENTRY                     ADDRESS          REF BY
           str1                      0200
-------------------------------------------------------------
DATA16_Z
  Relative segment, address: 0202 - 020B (0xa bytes), align: 0
  Segment part 5.              Intra module refs:    main
           ENTRY                     ADDRESS          REF BY
           str2                      0202
-------------------------------------------------------------
CODE
  Relative segment, address: 0236 - 0251 (0x1c bytes), align: 1
  Segment part 6.
           ENTRY               ADDRESS          REF BY
           main                0236       Seg. part 12 (?cstart)
               stack 1 = 00000000 ( 00000002 )
-------------------------------------------------------------
DATA16_ID
  Relative segment, address: 02A0 - 02A1 (0x2 bytes), align: 1
  Segment part 4.              Intra module refs:    str1
-------------------------------------------------------------
DATA16_C
  Relative segment, address: 0296 - 029F (0xa bytes), align: 0
  Segment part 2.              Intra module refs:    Seg. part 4
```

Cargado del programa

- Alternativas (en orden cronológico de aparición):
  - Grabarlo en ROM o PROM, y después insertar el chip en la placa.
  - Grabarlo en la memoria FLASH destino.

Memoria FLASH

- Memoria FLASH:
  - no volátil y programable en campo
  - host puede conectarse al target y programarla

- Maneras:
  - JTAG (Joint Test Action Group)
    - puerto para debugging que permite el grabado en Flash
  - Bootloader o BSL (*bootstrap loader*)
    - programa que “sabe” guardar en FLASH el código que recibe por medio de un puerto de comunicación

In-circuit emulator / debugger

- Origen histórico del término: *emulator*
  - funcionalidad similar a un debugger de escritorio
    - Set breakpoints
    - Single-step
    - descarga de registros y memoria, etc
    - escritura en memoria
  - prototipado y desarrollo
- Atención: ¡ya no es emulado!

- Ejemplo:
  - Flash Emulation Tool (FET)
  - JTAG

Actualizaciones en campo

- Corregir código en campo es caro.
  - debe llevar el producto para actualizar el programa (memoria), eventualmente el cliente podría hacerlo.
- Algunos productos permiten actualización automática (OTA).
  - Receptores de TV Satélite o cable.
  - Teléfonos celulares
  - Motes (RSI)
- No es fácil:
  - Si la imagen obtenida está corrupta (problemas de comunicación), después no anda.

Bibliografía

- “An Embedded Software Primer” David Simon
  - Chapter 9: Embedded Software Development Tools
- “Real-time Embedded Systems” Xiaocong Fan
  - Chapter 2: Cross-Platform Development
- MSP430 Assembly Language Tools v20.12.0.STS, User’s Guide