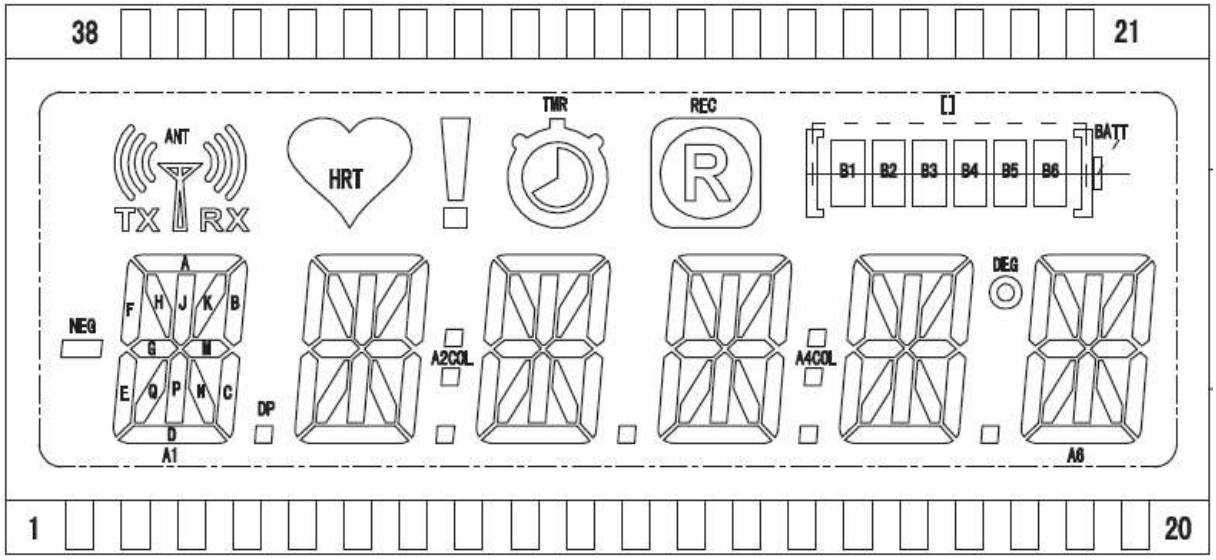
SISTEMAS BASADOS EN MICROPROCESADOR
PRÁCTICA 2. C+ASM. PANTALLA LCD

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial (3er curso)
Curso 2024/2025

1 INTRODUCCIÓN

El MSP-EXP430FR6989 *Launchpad* dispone de un *display* LCD controlable directamente por el procesador. Puede visualizar hasta 6 caracteres alfanuméricos usando dígitos de 14 segmentos, y algunos símbolos especiales.



1.1 Objetivos

- Gestionar programas mixtos en C y ensamblador.
- Controlar una pantalla LCD.
- Experimentar con el sistema de reloj del MSP430.
- Hacer una librería de uso de la pantalla.

2 ESTUDIO TEÓRICO

2.1 Trabajando con los relojes

Busque y estudie en la documentación de examen de la página web de la asignatura la documentación del Clock System (`cs.pdf`). En ella se recogen los registros de control del módulo de reloj del FR6989. Responda a las siguientes cuestiones:

- Velocidad a la que arranca el DCO:
- Fuente y velocidad del MCLK:
- Fuente y velocidad del SMCLK:
- Fuente y velocidad del ACLK:
- Estado del oscilador LFXT:
- Estado del oscilador HFXT:
- Estado del oscilador VLO:

Busque en la hoja de datos del FR6989 en qué pines están los terminales del oscilador LFXT:

- Anote aquí los pines:
- Anote la función por defecto de los mismos:
- Instrucción que necesitaría para configurarlos como pines del LFXT:

Cuando se activa un oscilador de cuarzo, éste no oscila de forma estable hasta pasado un tiempo. El FR6989 dispone de un circuito que monitoriza cada uno de los osciladores externos y activa un flag en caso de que el mismo esté en fallo (oscilación no estable). Escriba un trozo de código que active el LFXT con un cristal externo (presente en el *Launchpad*) y espere hasta que esté funcionando correctamente. Para ello debe borrar el flag de fallo (`LFXTOFFG` de `CSCTL5`, y `OFIFG` de `SFRIFG1`) y comprobar que el primero permanece borrado. En caso contrario, debe repetir el proceso hasta que lo haga. Ponga atención al sistema de protección mediante claves y bloqueo de los registros que dispone el módulo.

2.2 Trabajando con el controlador LCD

Busque y estudie en la documentación de examen de la página web de la asignatura la documentación del controlador LCD (`lcd.pdf`). En ella se recogen los registros de control del módulo de *display* del FR6989. Este módulo es muy complejo y versátil para que se pueda acomodar a diversas pantallas (hasta 320 segmentos) y escenarios. No obstante, dada la pantalla conectada en nuestro caso en el *Launchpad*, la configuración es muy concreta:

- f_{LCD}=1kHz (aprox.), modo 4 mux, segmentos activados y bajo consumo.
- V_{LCD}=2'6V (generado internamente), tensiones V2-V4 internas, V5=Vss, bomba de carga activa y sincronizada con el reloj.
- Borrar la pantalla.
- Activar la pantalla.

Los segmentos del controlador de LCD están multiplexados con los pines del microcontrolador. Puede encontrar en el manual de usuario del *Launchpad* qué segmentos del módulo LCD se usan para controlar el *display* físico. Lo ideal es activar sólo los segmentos que se usan realmente con nuestra pantalla, para dejar los demás libres para otras funciones.

Observe la distribución de segmentos en cada registro de la memoria de vídeo. Preste atención a los segmentos adicionales ubicados en cada uno de los dígitos: `NEG` y `A1DP` en el dígito A1, `A2COL` y `A2DP` en A2, etc. Note también la distribución aparentemente caprichosa de los dígitos en la memoria. Se ha hecho así para simplificar el conexionado de las señales desde el micro a la pantalla, pero dificulta la programación.

3 ESTUDIO PRÁCTICO

3.1 Proyecto mixto C-ensamblador

Es posible realizar programas escritos en parte en C y en parte en ensamblador. Para lograrlo se deben incluir distintos ficheros dentro de lo que se conoce en CCS como un *proyecto*. Cada fichero tiene una extensión en función del lenguaje usado: `.c` para C y `.asm` para ensamblador. No es posible mezclar C y ASM en el mismo fichero.

- Cree un nuevo proyecto pulsando *Project/New CCS Project...*
- Si no aparece por defecto el modelo del procesador[1], introdúzcalo en la casilla *Target*.
- Nombre al proyecto "P2.1".

1. Si tiene conectado el *Launchpad* a un puerto USB y ha sido convenientemente configurado con sus *drivers*, lo normal es que CCS lo detecte y rellene ese campo.

- Seleccione la opción por defecto *Empty Project (with main.c)*.
- Pulse *Finish*. Se activa el nuevo proyecto y abre el esqueleto de un fichero `main.c`. En el mismo ya se ha puesto la instrucción que desactiva el perro guardián, pero no la que desbloquea los puertos. Tendrá que hacerlo manualmente con la instrucción:

```
PM5CTL0 &= ~LOCKLPM5;   //Desbloquea los puertos de E/S
```

- Es necesario cambiar algunas opciones por defecto del proyecto. Pulse con el botón derecho del ratón sobre el nombre del mismo y seleccione *Properties* (o pulse `Alt-Intro`):
  - Pasar a modelo de memoria pequeño. Esto hace que sólo se usen los primeros 64KB de memoria tanto para código como para datos, lo que nos permitirá usar instrucciones de la CPU de 16 bits en lugar de la de 20 bits (CPUX): vaya a *Build/MSP430 Compiler/Processor Options*. Especifique modelo *small* para código y datos.
  - Desactivar optimizaciones. Esto evita que el compilador elimine código que puede considerar inútil, como los bucles de espera activa: vaya a *Build/MSP430 Compiler/Optimization*. En *Optimization level*, seleccione *Off*.
  - Pulse `OK`.

3.2 Módulo de gestión de la pantalla `lcd.asm`

3.2.1 Creación del módulo `lcd.asm`

Un *módulo* es un fichero de código que recoge subrutinas y variables relacionadas con una tarea o sección específica del microcontrolador. Puede escribirse en C o ensamblador.

En esta práctica se va a partir de un módulo precreado para la pantala LCD, al que se le añadirán nuevas funciones.

Descargue el fichero `lcd.asm` de la carpeta `Práctica 2` de la web de la asignatura y anote dónde lo guarda (por ejemplo, Escritorio). Pulse con el botón derecho del ratón sobre el proyecto y seleccione *Add Files...*. Busque `lcd.asm` donde lo guardó y haga doble click sobre él. En el cuadro de diálogo que se abre, asegúrese de que está activa la opción *Copy files* y pulse `OK`.

Abra el fichero para editarlo en CCS. Estudie el contenido:

- La directiva `.cdecls` permite incluir uno o más ficheros de cabecera de C y lo traduce a ensamblador. En nuestro caso carga las definiciones del MSP430.
- La directiva `.global` declara una serie de etiquetas que se van a referenciar desde fuera. En nuestro caso nombra las subrutinas y variables globales que se van a definir en este módulo. Si en el futuro añade subrutinas/variables globales a este módulo, tendrá que añadir aquí sus etiquetas si van a ser accedidas desde otro.
- Hay un vector en el que se define la tabla de 14 segmentos. Cada carácter necesita dos *bytes*. En el bajo se guardan los segmentos A-M y en el alto los siguientes. Observe que los bits 0 y 2 del byte alto se usan para otros símbolos y no se definen aquí (se han puesto a 0). Es muy interesante incluir una cabecera como la que tiene esta tabla para documentar cada subrutina.

Haga ahora el fichero de cabecera. Pulse de nuevo con el botón derecho del ratón sobre el proyecto y seleccione *New/Header file*. Nombre el fichero `lcd.h`. Se abrirá el esqueleto de un fichero de cabecera de C. Debe incluir las definiciones y prototipos del módulo en el hueco de las líneas 10 a 12 (puede usar más si lo necesita). Los prototipos de este módulo son:

3.2.2 Inicializar la pantalla `lcdIni`

```
void lcdIni (void);
```

Inicializa la pantalla para que se pueda usar. Esta subrutina ya está incluida en `lcd.asm`. Estudie el código y compárelo con las instrucciones de la sección 2.2 del estudio teórico.

3.2.3 Conversor de ASCII a 14 segmentos `lcda2seg`

```
unsigned int lcda2seg (char c);
```

Recibe el código de un carácter ASCII imprimible (códigos 32 a 127) y devuelve su representación a 14 segmentos según el LCD del *Launchpad*. Devuelve `0xFFFF` si el carácter está fuera de rango. Ayúdese de la tabla de conversión presente en el módulo `Tab14Seg`.

3.2.4 Escribir un carácter con desplazamiento a la izquierda `lcdLPutc`

```
void lcdLPutc (char c);
```

Si `c` es un carácter ASCII imprimible, desplaza el contenido de la pantalla un carácter a la izquierda (el carácter de la izquierda se pierde) y escribe `c` en el dígito de la derecha. En caso contrario no hace nada. Llama a `lcda2seg()` para obtener su representación en segmentos.

Preste atención al proceso de desplazamiento, ya que no deben desplazarse los segmentos externos de cada dígito (bits 0 y 2 del MSB). Es decir, cuando se mueva la información de segmentos del dígito 6 para ponerlo en el dígito 5 (por ejemplo), debe mover todos los bits excepto los bits 0 y 2 del MSB.

3.2.5 Escribir un carácter con desplazamiento a la derecha `lcdRPutc`

```
void lcdRPutc (char c);
```

Igual que la anterior, pero desplaza el contenido de la pantalla un carácter a la derecha y escribe `c` en el dígito de la izquierda.

3.2.6 Borrar la pantalla `lcdClearAll`

```
void lcdClearAll (void);
```

Borra el contenido de la pantalla.

3.2.7 Borrar los dígitos `lcdClear`

```
void lcdClear (void);
```

Borra sólo los dígitos de la pantalla.

3.2.8 Control del icono de batería `lcdBat`

```
void lcdBat (uint8_t b);
```

Establece el estado de los segmentos del indicador de nivel de batería. Los bits 0 a 5 de `b` indican, respectivamente, los estados de los segmentos 1 a 6 de la batería. El bit 6 indica el estado de la forma de la batería `[ ]` y el 7 el polo positivo. 0 para apagado y 1 para encendido.

3.2.9 Función iconos `lcdIcon`

```
void lcdIcon (uint8_t map);
```

Enciende/apaga diversos iconos de la pantalla LCD. `map` en un mapa de bits que guarda el estado de cada icono. La distribución es la siguiente:

7	6	5	4	3	2	1	0
º	TX	ANT	RX	TMR	HRT	REC	!

Los bits usan lógica positiva: un 1 enciende el icono y un 0 lo apaga.

3.2.10 Función iconos `lcdInterDigit`

```
void lcdInterDigit (uint8_t map);
```

Enciende/apaga los segmentos de los puntos decimales, los dos puntos y el signo menos. `map` en un mapa de bits que guarda el estado de cada icono. La distribución es la siguiente:

7	6	5	4	3	2	1	0
A2COL	A4COL	A5DP	A4DP	A3DP	A2DP	A1DP	NEG

Los bits usan lógica positiva: un 1 enciende el icono y un 0 lo apaga.

3.3 Módulo de gestión del reloj `cs.asm`

3.3.1 Creación del módulo

Seleccione el proyecto en el *Project Explorer* y cree un nuevo fichero para albergar el módulo pulsando sobre *File/New/File from template...*. Llame al fichero `cs.asm` y seleccione "*Ensamblador*" en "*Template*" (modelo)[2]. El nuevo fichero se abre automáticamente en el editor.

Recuerde que por cada servicio (subrutina, función) que añada a un módulo y que quiera que sea accesible desde el exterior, deberá añadir su nombre en la directiva `.global` y su prototipo en el fichero de cabecera si lo va a usar desde fuera.

Los ficheros de cabecera son ficheros con extensión `.h` y el mismo nombre que el módulo en el que se recogerán las declaraciones de todos los servicios (subrutinas o funciones) y variables que se definan en dicho módulo. Por tanto, cada módulo tendrá un fichero con extensión `.c` o `.asm` con las definiciones de código y variables y otro con extensión `.h` con las declaraciones o prototipos. Puede crear un fichero de cabecera pulsando sobre *File/New/ Header file...*

Alternativamente, puede copiar otro módulo y cambiarle el nombre. En ese caso, tendrá que borrar el código así como las etiquetas recogidas en `.global`. No olvide hacer lo propio con el fichero de cabecera.

2. Si el modelo no aparece en la lista, añádalo a partir del fichero `TemplateEnsamblador.xml` (que puede encontrar en la web de la asignatura) pulsando en "*Configure...*" y después en "*Import...*". Seleccione el fichero descargado y pulse "*Abrir*".

3.3.2 Inicialización del reloj de baja frecuencia `csIniLf`

El módulo LCD necesita un reloj para funcionar. Vamos a usar el cristal de cuarzo externo de 32768Hz como fuente de reloj de ACLK para obtener una señal precisa y estable. La siguiente función hará el trabajo y deberá ser llamada en la zona de inicialización del `main()`.

```
void csIniLf (void);
```

Las tareas que realiza son:

- Configurar los pines de E/S para que tengan la función de los pines del oscilador.
- Desbloquear los registros del módulo CS.
- Habilitar el oscilador LFXT.
- Esperar hasta que el oscilador se estabilice. Para ello debe borrar el flag `LFXTOFFG` de `CSCTL5` que indica error en el oscilador LFXT, así como el flag `OFIFG` del registro `SFRIFG1` que indica error en *un* oscilador. Hacer un bucle que repita este paso mientras `LFXTOFFG` siga activo.
- Bloquear los registros del módulo CS.

3.4 Programa principal en C

Para poder usar el módulo anterior desde C, debe incluir los ficheros de cabecera correspondientes:

```
#include "cs.h"
#include "lcd.h"
```

La instrución del preprocesador de C `#include` permite dos formatos para especificar el nombre del fichero a incluir. Si el mismo se rodea de los caracteres '<' y '>', se busca el fichero en el fichero del sistema del compilador. Si se rodea de dobles comillas, se busca en el directorio del proyecto.

```
#include <msp430.h>  //msp430.h está en el directorio del sistema
#include "lcd.h"     //lcd.h está en el directorio del proyecto
```

Dentro de `main()` llame a las funciones de inicialización de los dos módulos:

```
int main (void)
{
  WDTCTL = WDTPW | WDTHOLD;          //Detener perro guardián
  PM5CTL0 &= ~LOCKLPM5;              //Desbloquear puertos E/S

  csIniLf();                         //Arrancar ACLK a 32768Hz
  lcdIni ();                         //Inicializar display LCD

  //Resto del código
}
```

Inicialmente el programa hace una prueba de la pantalla enciendo TODOS los segmentos durante 2 segundos[3]. Después la apaga y pasa a hacer ella animación siguiente:

Aparece el mensaje "`***Sistemas Basados en Microprocesador***`" en la pantalla desplazándose alternativamente a izquierda y derecha repetidamente[4]. Después de imprimir cada carácter llame a una función en C que haga una pausa de unos 0'2 segundos[3]. La visualización del mensaje debe simultanearse con el movimiento de un segmento del icono de la batería. Inicialmente se encenderá el de más a la derecha. Cada vez que se muestre un

3. Haga un bucle de espera activa para hacer la pausa. El tiempo es aproximado.
4. Cuando termine de hacer la impresión hacia la izquierda el contenido de la pantalla será "`dor***`". Cuando inicie la impresión hacia la derecha debe tenerlo en cuenta para que la siguiente imagen sea "`ador**`". El comportamiento deber ser análogo cuando termine la impresión hacia la derecha.

carácter del mensaje, se cambiará el segmento encendido al que está a su izquierda. Cada vez que se toque un extremo, se invertirá el movimiento.

Después de hacer el tercer ciclo (primero hacia la izquierda, luego a la derecha y finalmente a la izquierda otra vez), borre la pantalla completamente y empiece el proceso de animación desde cero.