Memoria Práctica Final

🤖 Realizado por Juan José Navarrete Gálvez y Daniel Bazo Correa, alumnos de Ingeniería de Sistemas Electrónicos.

Índice

1. Resumen

En este documento se detallará el proceso del proyecto realizado durante la asignatura de Microbótica para la implementación de un microbot capaz de realizar competiciones de mini-sumo.

El punto de partida ha consistido en combinar todas las prácticas anteriores realizadas durante el trascurso de la asignatura de Microbótica junto con la elaboración de una máquina de estados que veremos en los puntos siguientes. Además de ello, se ha implementado una serie de controles software para la gestión de interrupciones con la finalidad de dar una cierta “inteligencia” al microbot, con el objetivo de detectar estímulos y reaccionar acorde a ellos.

Con la finalidad de realizar un control de versiones de las diferentes prácticas, gestionar recursos, utilidades y tener los ficheros sincronizados entre los integrantes del grupo, hemos decidido utilizar GitHub. El repositorio en cuestión se encuentra en el siguiente enlace.

2. Especificaciones

2.1. Componentes

Los componentes utilizados han sido los siguientes:

- Como microcontrolador se ha utilizado la TIVA C Series EK-TM4C123GXL.
- Dos sensores de contacto. Uno colocado en la parte frontal de microbot y otro en la parte trasera.
- Un sensor de distancia analógico (Sharp) GP2Y0A41SK0F con mediciones de distancia desde los 4 hasta los 30 cm.
- Cuatro sensores de línea TCRT1000.
- Dos sensores de línea CNY70.

2.2. Instalación de sensores

A continuación, mostramos una imagen de cómo ha quedado instalado todos los sensores en el microbot:

IMAGEN MICROBOT

Como podemos observar, cada uno de los sensores de línea se encuentran en las esquinas del chasis del microbot en su parte inferior. Con ello, conseguimos evitar pisar la franja circular blanca que se encuentra alrededor del tatami donde se producirá la lucha del mini-sumo.

IMAGEN TATAMI

En el caso del sensor Sharp, ha sido colocado en la parte frontal del chasis para la detección de objetos con una distancia media-lejana.

Para contar la distancia recorrida a la par que la cantidad de grados a girar, hemos colocados dos sensores CNY70 en cada una de las ruedas.

Por último, los sensores de contacto han sido pegados en unas púas de reparación de equipos o púas de guitarra para conseguir que se pulsen con antes de sufrir un impacto en el chasis del microbot. Así, conseguiremos un margen extra a la reacción de los estímulos por parte del microbot.

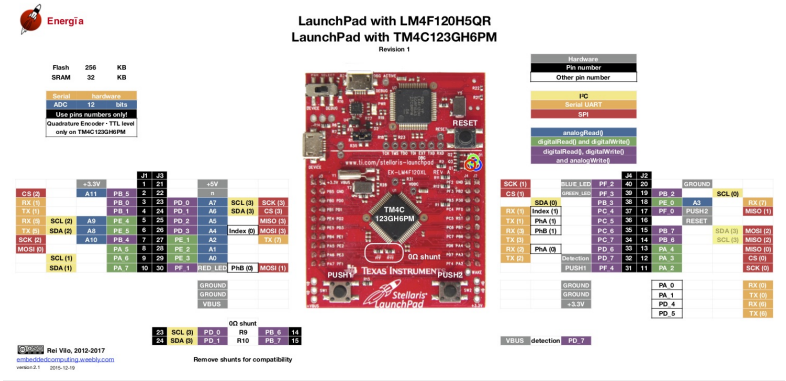
A fin de colocar los sensores en su posición oportuna, se ha utilizado blu-tack. Además, se ha optado por taladrar la parte frontal del chasis con la intención de colocar los cables del sensor de contacto frontal lo más cercano del microcontrolador evitando posibles daños en los conectores y cables.

Debido a la gran cantidad de pines necesarios, nos vimos con una limitación de conexiones ya que la placa de expansión seguía siendo insuficiente. Por ello, se optó por soldar pines macho en los conectores situados en los laterales de los botones de la Tiva además de colocar una pequeña placa de prototipos con el objetivo de sacar los pines de tensión de 5 V y GND del microcontrolador. A la hora de realizar este proceso, hay que tener en cuenta que no se debe conectar todos los pines en una misma línea, por lo que habrá que realizar múltiples copias para no saturarlas (balancear cargas). Además, con el fin de evitar problemas de bucles de corrientes, entre otros problemas, hemos colocado todos los pines a tierra en una única toma.

IMAGEN PROTOBOARD

2.2.1. Pines utilizados

A continuación mostraremos todos los pines utilizados por el microbot, además de los timers u otros elementos que hemos considerado importantes a conocer:



Pines	Uso	Pines	Pines
PA0	U0RX	**PB0**	PIN_LED_G (led verde) → Modo Búsqueda
PA1	U0TX	**PB1**	PIN_LED_B (led azul) → Modo Ataque
PA2	PIN_CNY_IZQ	**PB2**	PIN_LED_Y (led amarillo) → Modo Huida
PA3	PIN_CNY_DER	**PB3**	
PA4		**PB4**	
PA5	PIN_WHISK_FRONT	**PB5**	
PA6	PIN_WHISK_BACK	**PB6**	
PA7		**PB7**	
PC0		**PD0**	
PC1		**PD1**	
PC2		**PD2**	
PC3		**PD3**	
PC4	PIN_LIN_DD (delantero derecho)	**PD4**	
PC5	PIN_LIN_DI (delantero izquierdo)	**PD5**	
PC6	PIN_LIN_TD (trasero derecho)	**PD6**	
PC7	PIN_LIN_TI (trasero izquierdo)	**PD7**	
PE0		**PF0**	RIGHT_BUTTON

Pines	Uso	Pines	Pines
PE1		**PF1**	
PE2		**PF2**	PWM
PE3	ADC0	**PF3**	PWM
PE4		**PF4**	LEFT_BUTTON
PE5		**PF5**	
PE6		**PF6**	
PE7		**PF7**	

- Timers → TIMER 2, TIMER5

2.3. Requisitos

Los requisitos mínimos (nivel 1) del proyecto son los siguientes:

1. El microbot deberá tener un color claro (blanco) para que pueda ser detectado por los sensores SHARP.
2. El microbot deberá ser capaz de navegar por el tatami de forma reactiva. Es decir, cuando el microbot detecte un estímulo debe reaccionar de manera directa sin realizar un plan previo, es acción-reacción.
3. El microbot no deberá salirse del borde blanco del tatami, detectando y reaccionando ante los posibles obstáculos.

Los requisitos de nivel 2 del proyecto son los siguientes:

1. El microbot además de contar con los requisitos planteado en los requisitos mínimos de nivel 1 deberá también incorporar estrategias de alto nivel, es decir, una estrategia deliberativa donde el microbot al presenciar un estimulo, evalúa el entorno en el que se encuentra creando un plan acorde a ello y tomando la acción que estime oportuna.

Los requisitos de nivel 3 del proyecto son los siguientes:

1. El microbot deberá combinar un control reactivo y deliberativo para conformando una arquitectura híbrida.

En nuestro caso, hemos implementado una arquitectura híbrida que contaremos en detalle en la parte de la programación.

3. Programación

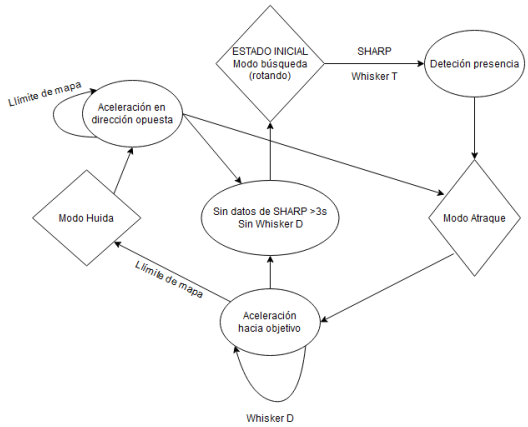
En cuando a la programación, con el propósito de evaluar la colocación de los sensores a la par que comprobar su correcto funcionamiento para su desempeño en el mini-sumo, se ha optado por utilizar FreeRTOS junto al protocolo serie UART.

FreeRTOS es un sistema operativo en tiempo real para microcontroladores. Gracias a su uso, se consigue una abstracción mayor en el código, simplificando su programación. De igual modo, permite añadir características esenciales para la elaboración del proyecto tales como flags de eventos, colas, una gran gestión de las interrupciones, capacidad de configurar el microbot en bajo consumo, etc.

La combinación de FreeRTOS con el protocolo serie UART nos ha permitido explorar, a través de un terminal serie del programa Code Composer Studio, los pasos que seguía el microbot durante la fases de pruebas, consiguiendo ver en todo momento los estados en los que se encontraba el microbot, acciones que realizaba, etc. Con ello, hemos logrado depurar y optimizar el programa para un mejor y correcto desempeño.

Posteriormente, para poder ver los estados en los que se encontrará el microbot (modo búsqueda, modo ataque y modo huida, los veremos a continuación) hemos colocado 3 leds que se iluminarán dependiendo del estado en el que se encuentre actualmente.

Con el código elegido de la práctica anterior, decidimos elaborar una máquina de estados en el que se reflejara los modos de funcionamiento del microbot, así como de las acciones que provocarían esos cambios de estados.



El componente principal de nuestro código es la máquina de estados, donde contamos con 3 estados fundamentales, **BUSQUEDA, ATAQUE** y **HUIDA**. A continuación, mostramos el esqueleto del código con una breve explicación de lo que sucede en cada caso:

```
static portTASK_FUNCTION (TareaMaestra, pvParameters)
{
    ...

    while(1)
    {
        // Puesto que el microbot debe dejar paso siempre a las tareas de la máquina de estados, la toma de flags de eventos no debe ser bloqueante
        // por ello, como último parámetro de xEventGroupWaitBits hemos colocado un 0.
        // Cuando se active un flag de eventos provocado por una RTI, se activará el flag correspondiente saltando de un estado a otro.
        eventos = xEventGroupWaitBits(FlagsEventos, TATAMI_DD | TATAMI_DI | TATAMI_TD | TATAMI_TI | VAL_WHISK_FRONT | VAL_WHISK_BACK, pdTRUE, pdFALSE, 0);

        switch(modo)
        {
            case BUSQUEDA:
            {
                // El robot rota de manera indefinida hasta encontrar un objeto
                // Cuando detecte datos en la cola del Sharp o alguna interrupción provocando que se activan los flags de eventos oportunos,
                // pasará al estado correspondiente.
                // Si durante 4 segundos (mediante un timer software, "CASIO_BUSQUEDA") no encuentra ningún objeto, avanzará
                // unos centímetros para posteriormente seguir buscando.

                ...
            }

            break;


            case ATAQUE:
            {
                // Debe de acelerar hacia el objetivo, si detecta pulsaciones del whisker delantero seguirá
                // en el modo ataque.

                // Si durante el modo ataque:
                // los datos del sharp son de distancias altas o medias o no detecta el whisker delantero
                // volveremos al modo de busqueda.
                // Si durante el ataque al enemigo, los sensores de linea detecta el limite del mapa
                // pasamos al modo de huida

                ...
            }

            break;


            case HUIDA:
            {
                // Cuando entremos en este modo, los motores aceleran en dirección contrario al sensor detectado
                // y posteriormente realizan un giro. Si durante ese giro, encuentra a alguien, vuelve al modo ataque.
                // Si los datos que recibe del sharp son de distancia media o larga o no recibe datos del whisker delantero
                // pasara al modo de busqueda

                ...
            }

            break;

            default:
            {

            }
        }
    }
}
```

Debido a que las interrupciones originadas por los sensores de línea son las más importantes dentro de los sensores utilizados, estos serán los primeros en comprobarse en casa estado.

Posteriormente, recibirá mayor importancia el sensor Sharp y por último, los sensores Whiskers.

El traspaso de información del sensor Sharp con la tarea maestra se realiza a partir de valores mandados por una cola, `colaSharp` . Debido a unos problemas que tuvimos con el sensor Sharp, tuvimos que pasar de usar la función `binary_lookup` a establecer rangos de valores de manera manual dependiendo de los valores obtenidos por el sensor, aunque el uso de esta función la realizamos en la práctica 2. La funcionalidad del sensor Sharp viene de la mano del driver ***configADC.c*** y ***configADC.h,*** además de una tarea `TareaADC0Sharp` que se encuentra en el ***main.c*** del proyecto.

```
static portTASK_FUNCTION (TareaADC0Sharp, pvParameters)
{
    MuestrasADC lectura;
    uint32_t valor;

    while (1)
    {
        configADC0_LeeADC0(&lectura);

        if (lectura.chan >= 1480 && lectura.chan <= 3760)
        {
            valor = VAL_SHARP_CERCANO;
            xQueueSend(colaSharp, &valor, 0);
        }
        else if (lectura.chan >= 730 && lectura.chan < 1480)
        {
            valor = VAL_SHARP_MEDIO;
            xQueueSend(colaSharp, &valor, 0);
        }
        else if (lectura.chan >= 600 && lectura.chan < 730)
        {
            valor = VAL_SHARP_LEJOS;
            xQueueSend(colaSharp, &valor, 0);
        }
        else
        {
            valor = VAL_SHARP_NO_VISIBLE;
            xQueueSend(colaSharp, &valor, 0);
        }

        vTaskDelay(portTICK_PERIOD_MS);
    }
}
```

Para el caso de los sensores de línea, se ha creado una RTI en la que se manda el flag de eventos `TATAMI_XY` siendo `X` :

- `D` : si se activa el sensor delantero.
- `Y` : si se activa el sensor trasero.

En el caso de `Y` :

- `D` : si se activa el sensor derecho.
- `I` : si se activa el sensor izquierdo.

En dicha RTI, cambiamos directamente el modo al que pasará la máquina de estados siempre que inicialmente se halla pulsado el botón derecho ya que este activa la variable `ON_INI` iniciando el funcionamiento de la máquina de estados y por tanto, de la recepción de los eventos de los sensores:

```
void GPIOInt_C_Handler(void)
{
    BaseType_t higherPriorityTaskWoken = pdFALSE;
    int32_t i32PinStatus = GPIOIntStatus(GPIO_PORTC_BASE, true);

    if (ON_INI)
    {
        if ((i32PinStatus & PIN_LIN_DD))
        {
            xEventGroupSetBitsFromISR(FlagsEventos, TATAMI_DD, &higherPriorityTaskWoken);
            modo = HUIDA;
        }

        if ((i32PinStatus & PIN_LIN_DI))
        {
            xEventGroupSetBitsFromISR(FlagsEventos, TATAMI_DI, &higherPriorityTaskWoken);
            modo = HUIDA;
        }

        if ((i32PinStatus & PIN_LIN_TD))
        {
            xEventGroupSetBitsFromISR(FlagsEventos, TATAMI_TD, &higherPriorityTaskWoken);
            modo = HUIDA;
        }

        if ((i32PinStatus & PIN_LIN_TI))
        {
            xEventGroupSetBitsFromISR(FlagsEventos, TATAMI_TI, &higherPriorityTaskWoken);
            modo = HUIDA;
        }
```

```
    }

    MAP_GPIOIntClear(GPIO_PORTC_BASE, PIN_LIN_DD | PIN_LIN_DI | PIN_LIN_TD | PIN_LIN_TI);
    portEND_SWITCHING_ISR(higherPriorityTaskWoken);
}
```

Al igual que ocurre con los sensores de línea, se ha creado una RTI para los sensores Whiskers y CNY.

```
void GPIOInt_A_Handler(void)
{
    BaseType_t higherPriorityTaskWoken = pdFALSE;
    int32_t i32PinStatus = GPIOIntStatus(GPIO_PORTA_BASE, true);

    if (ON_INI)
    {
        if (i32PinStatus & PIN_WHISK_FRONT)
        {
            xEventGroupSetBitsFromISR(FlagsEventos, VAL_WHISK_FRONT, &higherPriorityTaskWoken);
            modo = ATAQUE;
        }

        if (i32PinStatus & PIN_WHISK_BACK)
        {
            xEventGroupSetBitsFromISR(FlagsEventos, VAL_WHISK_BACK, &higherPriorityTaskWoken);
            modo = HUIDA;
        }

        if (i32PinStatus & PIN_CNY_IZQ)
        {
            xEventGroupSetBitsFromISR(FlagsEventos, PASOS_RUEDA_IZQ, &higherPriorityTaskWoken);
        }

        if (i32PinStatus & PIN_CNY_DER)
        {
            xEventGroupSetBitsFromISR(FlagsEventos, PASOS_RUEDA_DER, &higherPriorityTaskWoken);
        }
    }

    MAP_GPIOIntClear(GPIO_PORTA_BASE, PIN_WHISK_FRONT | PIN_WHISK_BACK | PIN_CNY_IZQ | PIN_CNY_DER);
    portEND_SWITCHING_ISR(higherPriorityTaskWoken);
}
```

De la RTI anterior, vemos que los sensores Whiskers permiten realizar saltos entre modos. Sin embargo, los sensores CNY activan sus flags correspondientes de `PASOS_RUEDA_X` . Gracias a dicho flag, conseguimos conocer la cantidad de pasos que realiza el microbot, tanto de la cantidad en centímetros como de la cantidad de grados a girar.

Para el movimiento del microbot, hemos creado un sistema de colas en el que mandamos una estructura, `pareja` , que cuenta con 2 objetos. Un primer objeto de tipo `char` permitiendo identificar el tipo de movimiento (`c` = centímetros o `g` = grados) y un segundo objeto de tipo `int32_t` determinando la cantidad a desplazarse o girar. Este sistema de colas, se encuentra realizado de tal manera que no bloquee la funcionalidad del microbot, por lo que si se recibe algún evento de los sensores de línea, se eliminarán todos los eventos anteriores dando la mayor prioridad al modo de **HUIDA**, en este caso. Lo mismo ocurriría para el resto de sensores pero con diferentes grados de prioridad.

Debido a la longitud del código, únicamente mostraremos las partes esenciales acompañadas de una explicación:

```
static portTASK_FUNCTION (TareaMovimiento, pvParameters)
{
    // Definición de variables para su uso dentro de la tarea

    while (1)
    {
        // Esperamos a recivir algún evento de movimiento o evento de los CNY
        eventos = xEventGroupWaitBits(FlagsEventos, MOV | PASOS_RUEDA_IZQ | PASOS_RUEDA_DER, pdTRUE, pdFALSE, portMAX_DELAY);

        // Si el flag de eventos de Movimiento se activa
        if ((eventos & MOV) != 0)
        {
            // Y los objetivos a alcanzar (la cantidad a desplazarse o girar) son 0,
            // es decir, que no existe ningún objetivo actual.
            if ((objetivo_cm == 0) && (objetivo_grados == 0))
            {
                // Espero a recivir elementos de la cola de movimientos
                if (xQueueReceive(colaMovimiento, &mov_recibido, 0) == pdTRUE)
                {
                    // Paro las 2 ruedas del microbot
                    mov_rueda_universal(AMBAS_RUEDAS, 0);

                    // Si me llega una petición de desplazarme en centímetros
                    // tendré que diferenciar si la distancia a recorrer es positiva (hacia adelante)
                    // o negativa (hacia atrás)
                    if (mov_recibido.t == 'c')
                    {
                        if (mov_recibido.v >= 0)
                        {
                            ...
                        }
                        else if (mov_recibido.v < 0)
                        {
                            ...
                        }
                    }
```

```
                    // Mismo caso para los grados a girar
                    else if (mov_recibido.t == 'g')
                    {
                        if (mov_recibido.v >= 0)
                        {
                            ...
                        }
                        else if (mov_recibido.v < 0)
                        {
                            ...
                        }
                    }
                }
            }

            // Si se activa el flag de ventos del CNY izquierdo
            else if ((eventos & PASOS_RUEDA_IZQ)  != 0)
            {
                // Comprueba si tengo un objetivo a cumplir
                if (objetivo_cm != 0)
                {
                    ...

                    // Si he cumplico con el objetivo del dezplazamiento o del giro
                    // procedo a liberar los recursos
                    if (pasos_cm[0] == objetivo_cm)
                    {
                        ...
                    }
                }

                if (objetivo_grados != 0)
                {
                    ...

                    if (pasos_grados[0] == objetivo_grados)
                    {
                        ...
                    }
                }
            }

            // Al igual que ocurría con el CNY de la rueda izquierda
            // realizamos el mismo procedimiento para la rueda derecha
            // Esto es así ya que a la larga se acumulan fallos, con esto,
            // conseguimos mitigar cierto fallo conociendo qué rueda a cumplido
            // antes con su objetivo.
            // Ya que cada rueda se desplaza de manera simultanea.
            else if ((eventos & PASOS_RUEDA_DER)  != 0)
            {
                ...
            }
        }
    }
```

Con la intención de crear una jerarquía entre el código, decidimos implementar cada elemento del microbot como un driver. Para ello, hemos creado una carpeta en los ficheros del proyecto llamada ***drivers*** que cuenta con todo el código necesario. Gracias al uso de drivers, podemos crear capas de abstracción a la hora de emplear funcionalidades de los sensores, agilizando la programación y la capacidad de aislar posibles fallos.

4. Resultados

Algunos de los resultados obtenidos se pueden ver en los siguientes vídeos:

- Practica2AEj1-Grupo2 - YouTube
- Practica2BEj3-Grupo2 - YouTube

5. Mejoras, línea futuras y conclusiones

En cuando a las mejoras, nos hubiera gustado tener mayor tiempo para la planificación y desarrollo del proyecto, ya que conseguiríamos obtener un plan mejor detallado, con posibilidad de estudiar diferentes escenarios en los que poder utilizar el microbot (con la implementación realizada en este documento su uso tiene una gran restricción aunque es suficiente para el objetivo de este proyecto).

También, el poder haber contado con más tiempo, permite probar más sensores o realizar las pruebas suficientes a la elección final de sensores.

Como línea futura, hubiera sido interesante utilizar otro tipo de microcontroladores como Arduino simplificando la parte de programación aunque sacrificando en eficiencia. En nuestro caso, hubiera sido interesante probar una Arduino Mega ya que cuenta con una mayor cantidad de pines, resolviendo muchos de los problemas con los que nos hemos enfrentado.

En caso de querer elaborar un robot con mejores prestaciones, optar por equipos empotrados más potentes como los que ofrece Nvidia con su serie Jetson sería una gran oportunidad. Permitiendo conectar otros sensores que requieren de mayor computación como cámaras. Utilizar equipos como la Jetson, permitiría obtener procesados muchos más rápidos e incluso aplicar sistemas con inteligencia artificial que aprendieran

del entorno y mejorasen sus respuestas ante los estímulos presentados en dicho entorno durante su funcionamiento/aprendizaje (este tipo de problemas reciben el nombre de aprendizaje por refuerzo o reinforcement learning).

Consideramos que con este proyecto hemos ampliado nuestro conocimiento en los sistemas empotrados a la par que en la ingeniería debido a las ideas de diseño, toma de decisiones de sensores, resolución de problemas, etc.

6. Referencias y bibliografía

- J.M. Cano, E. González, I. Herrero, Apuntes de la asignatura de Sistemas Empotrados.
- J. P. Bandera Rubio, I. A. Herrero Reder, A. C. Urdiales Garcia, Apuntes de la asignatura de Microbótica.
- Texas Instrument, TIVAWare Peripheral Driver Library Users Guide.
- Texas Instrument, Tiva TM4C123GH6PM Microcontroller Data Sheet.
- FreeRTOS.

Tareas durante la práctica

TareaMovimiento:

- Unificar objetivos_grados con objetivos_cm y pasos_cm con pasos_grados

Tareas y funciones

- TareaMaestra
- TareaMovimiento
- TareaADC0Sharp
- Main
- GPIOIntHandler
- GPIO_A_Handler
- GPIO_C_Handler

Variables

- bool ON
-

Estructuras

En ‘ColaEventos.h’:

```
struct pareja{
    char t;
    int8_t v;
};
```