

STRD – Detección de distracciones al volante

Javier Alonso Silva
Alfonso Díez Ramírez
Sara Moreno Prieto
Mihai Octavian Stănescu

2021

Resumen

Se desarrolla un sistema de detección de distracciones al volante el cual se espera ayude a evitar los posibles accidentes derivados de la casuística anterior.

El desarrollo consiste en una evaluación de los requisitos, modelado del sistema mediante diagramas SysML hasta una implementación final en dos nodos diferenciados los cuales se comunican entre sí usando la tecnología CANBus.

El primer nodo (*nodo 1*) tendrá una carga balanceada entre la lectura de dispositivos así como la intervención en elementos físicos del vehículo, como son los frenos; y a su vez será el encargado de una transmisión continua de mensajes hacia el segundo nodo. El *nodo 2* leerá información sobre el estado psico-físico del conductor y, junto con la información recibida del *nodo 1*, alertará al mismo sobre distintos factores que se han visto peligrosos para que pueda reconducir su comportamiento. Finalmente, se ofrece al conductor un método para evitar ser distraído por el propio sistema pudiendo decidir entre tres niveles de avisos: completo, parcial e inactivo.

Índice

1. Introducción	1
1.1. Nodo 1	2
1.2. Nodo 2	4
2. Implementación	6
2.1. Nodo 1	6
2.2. Nodo 2	11
3. Diseño final	17
4. Aclaraciones	17
5. Glosario	18
A. Código fuente común	18
A.1. Cabeceras de código	18
A.2. Cuerpo del código	20
B. Código fuente nodo 1	27
B.1. Cabeceras de código	27
B.2. Cuerpo del código	29
C. Código fuente nodo 2	35
C.1. Cabeceras de código	35
C.2. Cuerpo del código	36

1. Introducción

Una de las mayores causas de accidentes son las distracciones de los conductores al volante, o bien por el uso de dispositivos electrónicos, somnolencia u otras acciones que llevan a la persona a no prestar atención a la carretera y su entorno.

A raíz de ese problema, los mecanismos de regulación internacionales han invertido tiempo, dinero y desarrollo en los sistemas ADAS (*Advanced Driving Assistance Systems*), con el fin de mitigar las situaciones anteriores y realizar una prevención activa sobre los accidentes de tráfico. Sin embargo, dichos sistemas no cuentan con una penetración significativa en el mercado, por lo que interesa agilizar su implantación y que pasen a ser un elemento de seguridad “por defecto” en los nuevos vehículos.

En este contexto, se ha pedido realizar una implementación distribuida, que cumpla con unos requisitos de tiempo real, en dos nodos que interactúan entre sí para actuar como un organismo conjunto sobre un vehículo como sistema ADAS.

El sistema a desarrollar contará con múltiples sensores:

- Giroscopio, para detectar en los ejes X y Y la inclinación de la cabeza del conductor y predecir una posible somnolencia.
- Giro del volante, para detectar si el conductor está pegando volantazos o está realizando “mini-correcciones”, características de un estado de somnolencia o de atender al móvil.
- Agarre del volante, donde se indicará si el conductor está agarrando el volante o no.
- Velocímetro, con un rango de valores comprendido entre los $[0, 200] \text{ km/h}$. Se usará para comprobar que se cumple la distancia de seguridad.
- Sensor de distancia, capaz de realizar lecturas en el rango $[5, 200] \text{ m}$ y que le indicará al conductor si está cumpliendo o no la distancia de seguridad, según la velocidad a la que circule.

y múltiples actuadores:

- Luces de aviso, las cuales se usarán para emitir señales luminosas al conductor indicando cierto nivel de riesgo que se está produciendo.
- *Display*, usado para visualizar los datos que obtiene el sistema.
- Alarma sonora, emitiendo un sonido con 3 niveles de intensidad.
- Luz de aviso/freno automático, donde ante un peligro de colisión inminente el sistema podrá activar el freno con hasta 3 niveles de intensidad.

Cada uno de los sensores/actuadores estarán controlados y monitorizados por una o varias tareas las cuales registran los datos en objetos protegidos. Dichas tareas vienen definidas con sus periodos y *deadlines* en el cuadro 1:

Tareas/objetos protegidos	Tipo	T_i	D_i	WCET	Síntomas 1	Síntomas 2	Modo
Inclinación cabeza	C	600	400	?	x_1		
Detección de volantazos	C	400	400	?	x_1		
Cálculo distancia	C	300	300	?		y_1	
Relax al volante	C	500	200	?	x_1		
Emergencias	C	300	300	?	x_2	y_2	z_2
Mostrar información	C	2000	2000	?	x_2	y_2	
Detección pulsador	S	-	100	?			z_1
Síntomas 1	P	-	-	x_1, x_2			
Síntomas 2	P	-	-	y_1, y_2			
Modo	P	-	-	z_1, z_2			

Cuadro 1: Listado de tareas y objetos protegidos junto con sus tiempos.

Como hay multitud de tareas y se cuenta con dos nodos, el sistema a implementar irá distribuido entre ambos y viene representado por la figura 1:

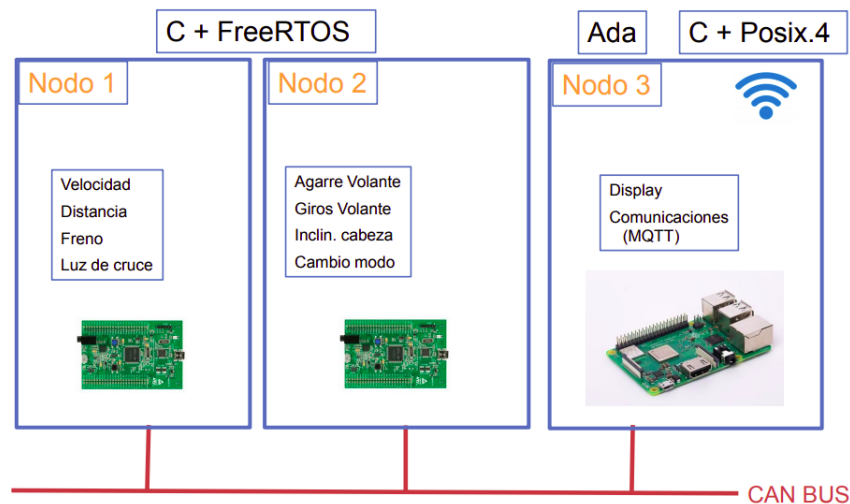


Figura 1: Modelo completo del sistema a implementar. Las tareas van distribuidas entre los dos nodos principales y se comunican entre ellos mediante CANBus.

1.1. Nodo 1

El primer nodo será el encargado principalmente de la actuación sobre distintos elementos del sistema, a saber: el freno, las luces de cruce e indirectamente sobre la alarma. Esto lo hará recogiendo datos de distintos sensores como son el velocímetro, el sensor de distancia y el sensor de luminosidad para adecuar su comportamiento a las circunstancias del entorno.

Este sistema contará con cuatro tareas en tiempo real y usará dos objetos protegidos: el primero de ellos para conservar el valor de la velocidad actual; y el segundo para guardar tanto el valor de la distancia con el vehículo precedente como la intensidad del freno que se ha de

aplicar en caso de peligro de colisión. Por su parte, las tareas en cuestión son:

1. Cálculo velocidad – cada 250 ms, realizará una lectura del sensor en cuestión mediante el ADC y actualizará el valor del objeto protegido V_{actual} .
2. Cálculo distancia – cada 300 ms, el sistema obtendrá la distancia con el vehículo precedente usando el sensor de ultrasonidos y actualizará el valor del objeto protegido D_{actual} . Además, leerá el valor de V_{actual} y computará lo que sería la distancia de seguridad mínima que hay que respetar, descrita por la ecuación 1:

$$d_{\min} = \left(\frac{V}{10} \right)^2, \begin{cases} d_{\min} & : \text{distancia mínima que hay que mantener.} \\ V & : \text{velocidad actual del vehículo.} \end{cases} \quad (1)$$

En caso de que la distancia de seguridad no se cumpla (y según el valor relativo con que no se cumple), la tarea indicará en Intens_Frenada con qué intensidad se ha de aplicar el freno para evitar una colisión. Finalmente, activará la tarea esporádica Freno para que realice su ejecución.

3. Freno – cada 150 ms como mucho, realizará la activación progresiva del freno cada 100 ms hasta alcanzar la intensidad apropiada. Al ser una tarea esporádica, depende directamente de la activación desde Cálculo distancia, lo cual añadirá un *jitter* al tiempo de respuesta global de la tarea.
4. Luces de cruce – cada 1 000 ms, el sistema realizará una valoración de la luminosidad del entorno y procederá a encender o apagar automáticamente las luces de cruce. Se establece que las luces se activarán si la intensidad lumínica está por debajo de 100.

Todo este sistema viene modelado por la figura 2:

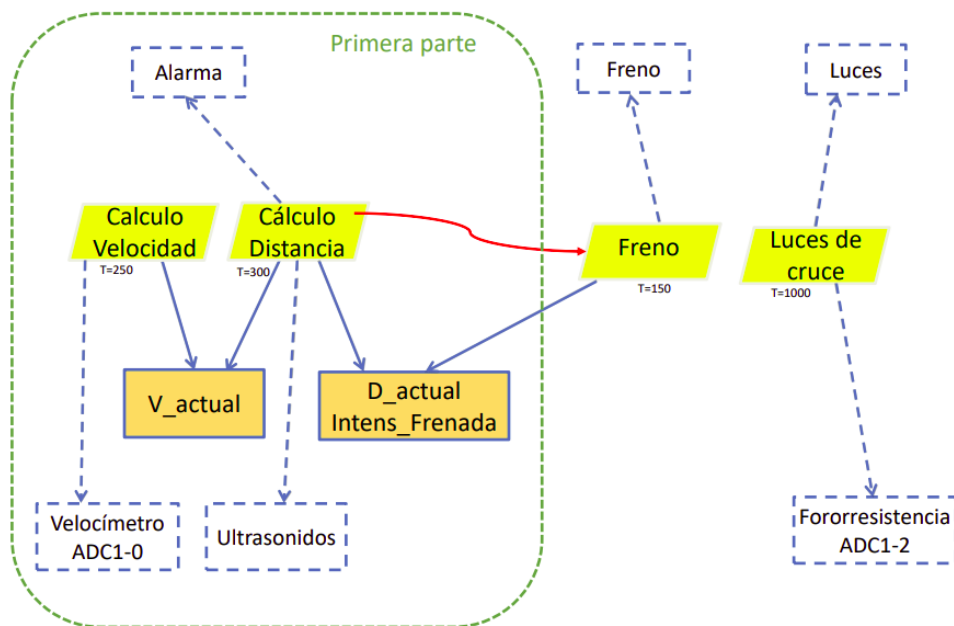


Figura 2: Modelado del nodo 1 junto con sus tareas, objetos protegidos, sensores y actuadores.

1.2. Nodo 2

El segundo nodo se encargará directamente de notificar al conductor cuando algún comportamiento es errático o peligroso. Entre otras tareas, este nodo se encarga de monitorizar el estado del conductor (y detectar posibles signos de somnolencia) y emitir avisos luminosos y sonoros cuando se produzcan situaciones de riesgo.

Este sistema cuenta con cinco tareas en tiempo real y tres objetos protegidos: el primero recoge datos sobre síntomas como son la inclinación de la cabeza o el giro del volante; el segundo, recoge información sobre si el conductor está sujetando o no el volante; y el tercero establecerá el modo de funcionamiento de los avisos del sistema. Con respecto a las tareas, se tiene:

1. Inclinación cabeza – cada 600 ms, leerá el valor del giroscopio integrado para actualizar los datos de las posiciones X e Y , en el objeto protegido Síntomas 1.
2. Detección volantazos – cada 400 ms el sistema leerá el valor de la posición del volante y actualizará el dato recogido en Síntomas 1. Si durante dos lecturas consecutivas la diferencia entre las posiciones del volante es de más de 150 y la velocidad es mayor a $70^{km/h}$ entonces se considera que el conductor está dando volantazos. Si pasan más de 5 segundos sin que se repita esa situación, el conductor estará conduciendo normalmente.
3. Relax al volante – cada 500 ms, el sistema actualizará en Síntomas 2 si el conductor está sujetando o no el volante.
4. Detección pulsador – tarea esporádica que será activada desde la rutina de tratamiento de interrupciones *hardware* que establecerá cíclicamente el modo de funcionamiento del sistema en el objeto protegido Modo.
5. Riesgos – cada 300 ms, el sistema evaluará los datos recogidos en los objetos protegidos Síntomas 1, Síntomas 2 y Modo y establecerá el nivel de alarma para con el conductor. Dicha detección de riesgos viene definida por la siguiente secuencia:
 - S_1 – si el conductor presenta una inclinación de la cabeza en los ejes X, Y de más de 20° y no tiene sujeto el volante se considera que está manipulando el móvil u otro aparato. Se activa la luz amarilla y se emite un pitido nivel 1.
 - S_2 – si la inclinación de la cabeza es $X > 20^\circ | Y > 20^\circ$, el volante está agarrado y la velocidad es mayor de $70^{km/h}$ se interpreta que el conductor no está prestando atención a la carretera y se encenderá la luz amarilla.
 - S_3 – si se detecta una inclinación en el eje X de más de 30° y el conductor está dando volantazos se interpreta como síntoma de somnolencia. Se encenderá la luz amarilla y se emitirá un pitido nivel 2.
 - S_4 – si se dan simultáneamente dos de los riesgos anteriores se pasa a estar en **NIVEL 2** de alerta y se encenderá la luz roja y emitirá un pitido nivel 2.
 - S_5 – si se produce un riesgo **NIVEL 2** y la distancia con el vehículo precedente es menor al 50 % de la distancia de seguridad recomendada, se estará ante una situación de **EMERGENCIA** y se activará el freno, junto con todo lo anterior.

La evaluación de riesgos se puede modelar mediante el diagrama 3:

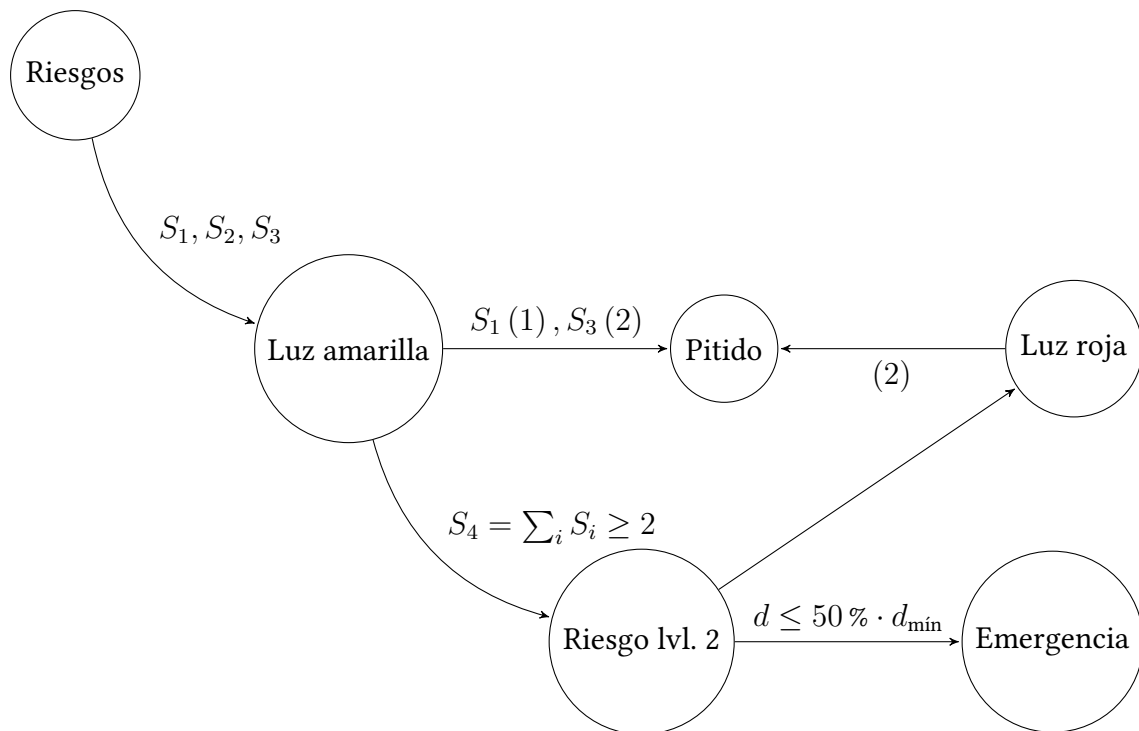


Figura 3: Diagrama que modela la interpretación de los riesgos, descritos en la enumeración anterior (S_i). La intensidad del pitido va acompañada entre paréntesis del síntoma que lo activa (por ejemplo, $S_1 (1)$ indica una intensidad de pitido nivel 1) o en solitario, si es consecuencia de acciones en cadena.

Y, en general, el nodo 2 se puede representar mediante la figura 4:

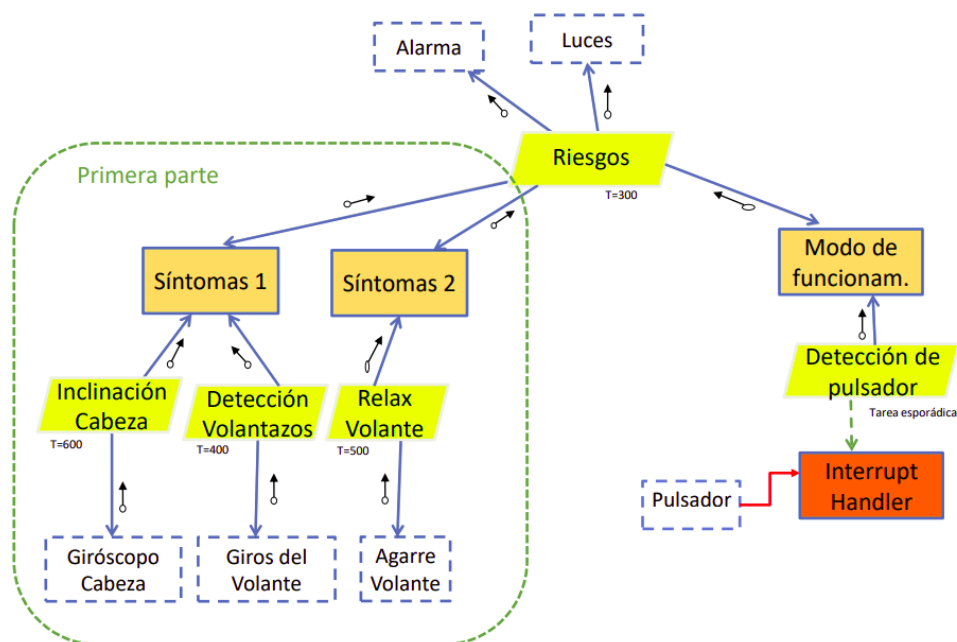


Figura 4: Modelado del nodo 2 junto con sus tareas, objetos protegidos, sensores y actuadores.

2. Implementación

Una vez se ha introducido el sistema, se va a explicar la implementación que se ha realizado finalmente en cada uno de los nodos. Como esta memoria es de explicación del código y de las decisiones tomadas, se incluirán distintos fragmentos del mismo para acompañar a las explicaciones y entrar en mayor o menor detalle en las funciones.

Por otra parte, se va a explicar qué tareas se han implementado correctamente en cada uno de los nodos y cómo se han implementado.

Finalmente, destacar que hay fragmentos de código fuente que son comunes a ambos nodos y que no aparecerán explicados en detalle por cada nodo sino que se indican en el anexo A.

2.1. Nodo 1

En el nodo 1 se han implementado en principio todas las tareas cumpliendo con las restricciones pedidas.

La tarea del Cálculo de velocidad viene definida por el listado de código 1:

```

90 /**
91  * @brief Tarea periódica (250 ms) que lee y actualiza el valor de la
92  *        velocidad del vehículo. Además, en cada iteración envía los
93  *        datos de la velocidad actualizados al nodo 2.
94  *
95  * @param argument lista de posibles argumentos a usar. Vacía por defecto.
96  */
97 void acelerador(const void *argument) {
98     int speed;
99     uint32_t wake_time = osKernelSysTick();
100    while(true) {
101        ADC_ChannelConfTypeDef sConfig = {0};
102        sConfig.Channel = ADC_CHANNEL_0;
103        sConfig.Rank = 1;
104        sConfig.SamplingTime = ADC_SAMPLETIME_28CYCLES;
105        HAL_ADC_ConfigChannel(&hadc1, &sConfig);
106        HAL_ADC_Start(&hadc1);
107        if (HAL_ADC_PollForConversion(&hadc1, 5) == HAL_OK) {
108            speed = map(HAL_ADC_GetValue(&hadc1), 0, 255, 0, 200);
109            SPEED_set(speed);
110            CAN_sendi(speed);
111        }
112        osDelayUntil(&wake_time, T_TAREAVELOCIDAD);
113    }
114 }
```

Listing 1: Tarea periódica que controla el acelerador.

En la susodicha tarea se lee el ADC desde el canal 0 y el valor recibido de la velocidad se mapea de 0 a 200 km/h (línea 108). A continuación, se actualiza el valor del objeto protegido (línea 109) y se envía el dato recibido por el CANBus (línea 110). Finalmente, se programa la siguiente ejecución dentro de 250 ms desde el instante de activación (línea 112).

La función de map viene definida en los códigos 14 y 17. El objeto protegido SPEED sigue la definición estándar del resto de objetos protegidos y viene definido en los códigos 20 (cabeceras) y 24 (cuerpo).

Por otra parte, el envío de datos mediante el CANBus se realiza mediante la librería can, definida en los códigos 15 y 18.

La tarea del Cálculo distancia viene definida por el código 2:

```

116 /**
117  * @brief Tarea periódica (300 ms) que lee y actualiza el valor de la
118  *        distancia con el vehículo precedente. Además, en cada iteración
119  *        se envía el valor de la distancia por el CANBus al nodo 2 y, además,
120  *        se computa el valor de la intensidad de frenada para activar (o no)
121  *        a la tarea esporádica #brake_task.
122  *
123  * @param args lista de posibles argumentos a usar. Vacía por defecto.
124  */
125 void distanceTask(const void *args) {
126     const uint16_t T_DISTANCE_TASK = 300U;
127     uint32_t wake_time = osKernelSysTick();
128     float distance;
129     float speed;
130     float secure_dist;
131     int old_intensity = 0;
132     int intensity = 0;
133     HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_9, GPIO_PIN_RESET);
134     while (1) {
135         distance = (float) USS_read_distance() * 0.00171821F;
136         if (distance == 500000)
137             distance = 1;
138         DISTANCE_set(distance);
139
140         speed = SPEED_get();
141         secure_dist = (float) pow((speed / 10), 2);
142
143         if (distance < secure_dist) HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_9,
144 ↪ GPIO_PIN_SET);
145         else HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_9, GPIO_PIN_RESET);
146
147         old_intensity = BRAKE_intensity_get();
148         if (distance ≤ .2 * secure_dist)
149             intensity = 4;
150         else if (distance ≤ .3 * secure_dist)
151             intensity = 3;
152         else if (distance ≤ .4 * secure_dist)
153             intensity = 2;
154         else if (distance ≤ .5 * secure_dist)
155             intensity = 1;
156         else
157             intensity = 0;
158
159         if (intensity ≠ old_intensity) {
160             BRAKE_intensity_set(intensity);
161             BRAKE_set_event();
162         }
163         CAN_sendf(distance);
164         osDelayUntil(&wake_time, T_DISTANCE_TASK);

```

```

164 | }
165 | }

```

Listing 2: Tarea periódica que controla la distancia.

En dicha tarea se utiliza la librería `uss` (códigos 21 y 25) para leer desde el sensor de ultrasonidos (líneas 135 – 137); se actualiza el valor de la distancia en el objeto protegido `distance` (línea 138) (códigos 22 y 26); se computa la distancia de seguridad y se calcula la intensidad de la frenada según unos porcentajes establecidos (líneas 140 – 156); si el valor de la intensidad de la frenada ha cambiado, se actualiza el objeto protegido y se notifica a la tarea esporádica que puede continuar su ejecución (líneas 158 – 161) (códigos 23 y 27); finalmente, se envía el valor de la nueva distancia por el CANBus (línea 162) y se programa la siguiente ejecución 300 ms después del instante de activación (línea 163).

La tarea esporádica Freno viene definida por el código 3:

```

167 /**
168  * @brief Tarea esporádica que es activada por #distanceTask cuando la
169  *    ↪ intensidad
170  *    ↪ de la frenada cambia. Además, se limita la activación de la tarea a,
171  *    ↪ como
172  *    ↪ mucho, 150 ms de periodo para evitar cambios bruscos en la intensidad
173  *    ↪ de la frenada y cómo afecta a la comodidad de los pasajeros.
174  *
175  * @param args lista de posibles argumentos a usar. Vacía por defecto.
176  */
177 void brake_task(const void *args) {
178     int intensity;
179     uint32_t wake_time = osKernelSysTick();
180     const uint32_t T_BRAKE_TASK = 150U;
181     while (true) {
182         BRAKE_wait_event();
183         intensity = BRAKE_intensity_get();
184
185         switch (intensity) {
186             case 0:
187                 HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_12, GPIO_PIN_RESET);
188                 HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_13, GPIO_PIN_RESET);
189                 HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_RESET);
190                 HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_15, GPIO_PIN_RESET);
191                 break;
192             case 1:
193                 HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_12, GPIO_PIN_SET);
194                 HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_13, GPIO_PIN_RESET);
195                 HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_RESET);
196                 HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_15, GPIO_PIN_RESET);
197                 break;
198             case 2:
199                 HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_12, GPIO_PIN_SET);
200                 HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_13, GPIO_PIN_SET);
201                 HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_RESET);
202                 HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_15, GPIO_PIN_RESET);
203                 break;
204             case 3:

```

```

206     HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_12, GPIO_PIN_SET);
207     HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_13, GPIO_PIN_SET);
208     HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_SET);
209     HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_15, GPIO_PIN_RESET);
210     break;
211     case 4:
212     HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_12, GPIO_PIN_SET);
213     HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_13, GPIO_PIN_SET);
214     HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_14, GPIO_PIN_SET);
215     HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_15, GPIO_PIN_SET);
216     break;
217
218     default:
219     break;
220 }
221
222     osDelayUntil(&wake_time, T_BRAKE_TASK);
223 }
224 }

```

Listing 3: Tarea esporádica que controla la intensidad de la frenada.

Dicha tarea espera a que se le notifique que se ha de ejecutar (línea 180) y después accede al objeto protegido que contiene la intensidad de la frenada (códigos 22 y 26); a continuación, según la intensidad de la frenada, enciende o apaga diversos LEDs en la placa a modo de indicativo visual de que se está frenando (líneas 183 – 220). Finalmente, para evitar que la tarea se pueda activar con una baja periodicidad se esperan al menos 150 ms desde el instante de activación.

Finalmente, la tarea de gestión de las Luces de cruce viene definida por el código 4:

```

226 /**
227  * @brief Tarea periódica (1 s) que se encarga de detectar cambios en
228  *        en entorno para activar las luces de cruce en condiciones
229  *        de poca visibilidad.
230  *
231  * @param argument lista de posibles argumentos a usar. Vacía por defecto.
232  */
233 void lucesCruce(void const *argument) {
234     HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_RESET);
235     int luminosity;
236     uint32_t wake_time = osKernelSysTick();
237     while(true) {
238         ADC_ChannelConfTypeDef sConfig = {0};
239         sConfig.Channel = ADC_CHANNEL_1;
240         sConfig.Rank = 1;
241         sConfig.SamplingTime = ADC_SAMPLETIME_28CYCLES;
242         HAL_ADC_ConfigChannel(&hadc1, &sConfig);
243         HAL_ADC_Start(&hadc1);
244         if (HAL_ADC_PollForConversion(&hadc1, 5) == HAL_OK) {
245             luminosity = map(HAL_ADC_GetValue(&hadc1), 0, 255, 0, 200);
246             if (luminosity < 100) HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_8, 0);
247             else HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_8, 1);
248         }
249         osDelayUntil(&wake_time, T_TAREALUCESCRUCE);
250     }
251 }

```

Listing 4: Tarea periódica que controla las luces de cruce.

Dicha tarea lee desde el ADC (canal 1) el valor recibido por el LDR y, tras comprobar su luminosidad con el rango establecido enciende o apaga las luces de cruce (líneas 245 – 247). Finalmente, se programa la siguiente ejecución 1 s después de la activación. Esta tarea no accede a ningún objeto protegido.

Cabe destacar que los distintos objetos protegidos que se declaran y usan a lo largo del código se basan en la librería lock, definida en los códigos 16 y 19. Dicha librería requiere que los objetos protegidos sean inicializados antes de realizar ninguna operación con ellos. Por ende, en el bloque main es necesario dedicar unas líneas para iniciar cada una de los objetos protegidos que se quieren usar (código 5):

```

253 /**
254  * @brief The application entry point.
255  * @retval int
256  */
257 int main(void) {
258
259     /* MCU Configuration————— */
260
261     /* Reset of all peripherals, Initializes the Flash interface and the Systick.
262      ↪ */
263     HAL_Init();
264
265     /* Configure the system clock */
266     SystemClock_Config();
267
268     /* Initialize all configured peripherals */
269     MX_GPIO_Init();
270     MX_ADC1_Init();
271     MX_SPI1_Init();
272     CAN_init();
273     SPEED_init();
274     DISTANCE_init();
275     BRAKE_init();
276
277     /* Create the thread(s) */
278     xTaskCreate((TaskFunction_t) acelerador,
279               "lectura potenciómetro",
280               configMINIMAL_STACK_SIZE,
281               NULL, PR_TAREA2, NULL);
282     xTaskCreate((TaskFunction_t) lucesCruce,
283               "lectura luces",
284               configMINIMAL_STACK_SIZE,
285               NULL, PR_TAREA2, NULL);
286     xTaskCreate((TaskFunction_t) distanceTask,
287               "lectura distancia",
288               configMINIMAL_STACK_SIZE,
289               NULL, PR_DISTANCIA, NULL);
290     xTaskCreate((TaskFunction_t) brake_task,
291               "tarea freno",
292               configMINIMAL_STACK_SIZE,
293               NULL, PR_BRAKE, NULL);

```

```
293 |
294 |     /* Start scheduler */
295 |     vTaskStartScheduler();
296 |     /* We should never get here as control is now taken by the scheduler */
297 |
298 |     /* Infinite loop */
299 |     while (1);
300 | }
```

Listing 5: Código del main.

En las líneas 271 – 274 se inicializan los objetos protegidos, dejándolos listos para su uso. El cuerpo viene definido en los códigos 18, 24, 26, 27.

2.2. Nodo 2

En el nodo 2 se han implementado también todas las tareas y requisitos pedidos en el documento de requisitos.

La tarea de actualización del modo de funcionamiento viene definida por el código 6:

```
110 | /**
111 |  * @brief Tarea esporádica que espera la detección del pulsador para
112 |  *        el cambio de modo.
113 |  *
114 |  * @param argument lista de posibles argumentos a usar. Vacía por defecto.
115 |  */
116 | void deteccionPulsador(const void *argument) {
117 |     uint32_t wake_time = osKernelSysTick();
118 |     while(true) {
119 |         if (xSemaphoreTake(interrupcion, portMAX_DELAY) == pdTRUE) {
120 |             modo = ++modo % 3;
121 |             MODE_set(modo);
122 |         }
123 |     }
124 | }
```

Listing 6: Tarea esporádica que controla el modo.

Dicha tarea espera a un semáforo binario que indica que se ha producido una interrupción (línea 119). Una vez desbloqueada, incrementa el modo hasta un máximo de '2' (línea 120) y finalmente actualiza el objeto protegido mode (códigos 28 y 31).

Por otra parte, como hace falta liberar el semáforo cuando se produce la interrupción del pulsador, es necesario definir un nuevo fragmento del código que habilite a la placa para esa tarea (código 7):

```
663 | /* Funcion para el tratamiento de interrupciones */
664 |
665 | void HAL_GPIO_EXTI_Callback(uint16_t GPIO_Pin)
666 | {
667 |     long yield = pdFALSE;
668 |     // /* Prevent unused argument(s) compilation warning */
669 |     UNUSED(GPIO_Pin);
670 |     portYIELD_FROM_ISR(yield);
671 | }
```

```

671 |
672 |     if (GPIO_Pin == GPIO_PIN_3) {
673 |         xSemaphoreGiveFromISR(interrupcion, &yield);
674 |     }
675 | }

```

Listing 7: Rutina de tratamiento de interrupciones.

Cuando se activa el GPIO3 se “devolverá” el semáforo, lo que permitirá que la tarea esporádica pueda adquirirlo y realizar su ejecución. Sin embargo, cuando lo intente adquirir de nuevo se bloqueará y hasta que no se repita este proceso quedará a la espera de que se libere el semáforo.

Por otra parte, la tarea que se encarga de detectar si hay o no volantazos viene definida por el código 8:

```

126 /**
127  * @brief Tarea periódica (400 ms) que actualiza la posición
128  *       del volante.
129  *
130  * @param argument lista de posibles argumentos a usar. Vacía por defecto.
131  */
132 void giroVolante(const void *argument) {
133     int actual;
134     int speed;
135     bool is_swerving = false;
136     uint8_t counter = 0;
137     uint32_t wake_time = osKernelSysTick();
138     while (true) {
139         ADC_ChannelConfTypeDef sConfig = {0};
140         sConfig.Channel = ADC_CHANNEL_0;
141         sConfig.Rank = 1;
142         sConfig.SamplingTime = ADC_SAMPLETIME_28CYCLES;
143         HAL_ADC_ConfigChannel(&hadc1, &sConfig);
144         HAL_ADC_Start(&hadc1);
145         if (HAL_ADC_PollForConversion(&hadc1, 5) == HAL_OK) {
146             actual = HAL_ADC_GetValue(&hadc1);
147             WHEEL_set(actual);
148             speed = SPEED_get();
149             is_swerving = WHEEL_update_swerving(speed);
150             if (is_swerving) counter = 0;
151             else if (counter == 13) WHEEL_set_is_swerving(false);
152             else {
153                 WHEEL_set_is_swerving(true);
154                 ++counter;
155             }
156         }
157         osDelayUntil(&wake_time, T_TAREAGIRO);
158     }
159 }

```

Listing 8: Tarea periódica de control del giro del volante.

En dicha tarea se lee desde el ADC (canal 0) y se actualiza el valor de la posición del volante en la variable `actual` (líneas 139 – 146); a continuación se conserva el dato en el objeto protegido `symptoms` (línea 147) y se comprueba, accediendo a la velocidad actual, si el conductor está dando volantazos o no. Esto se realiza en las líneas 148 – 155, en donde

se aprovechan los recursos provistos por el objeto protegido `wheel` para verificar si se ha pegado un volantazo (códigos 29 y 32). Si durante 13 iteraciones no se ha reseteado el contador (no ha habido volantazo) se quita el síntoma.

En lo referente a la tarea que identifica si el volante está siendo sujeto o no, se define mediante el código 9:

```

161 /**
162  * @brief Tarea periódica (500 ms) que actualiza si el volante está agarrado o
163  *    ↪ no
164  *
165  * @param argument lista de posibles argumentos a usar. Vacía por defecto.
166  */
167 void volanteAgarrado(const void *argument) {
168     int actual;
169     uint32_t wake_time = osKernelSysTick();
170     while (true) {
171         actual = HAL_GPIO_ReadPin(GPIOB, GPIO_PIN_8);
172         WHEEL_grab(actual);
173         osDelayUntil(&wake_time, T_TAREAAGARRADO);
174     }

```

Listing 9: Tarea periódica de control de sujeción del volante.

Dicha tarea sencillamente leerá el valor del GPIO correspondiente (línea 170) y actualizará el valor en el objeto protegido (línea 171), definido en los códigos 29 y 32.

Para trabajar con la inclinación de la cabeza, se ha de acceder a los valores provistos por el giroscopio integrado en la placa. El código de la tarea viene definido por 10:

```

176 /**
177  * @brief Tarea periódica (600 ms) que actualiza la posición de la cabeza.
178  *
179  * @param argument lista de posibles argumentos a usar. Vacía por defecto.
180  */
181 void Tarea_Control_Inclinacion(void const *argument) {
182     uint32_t wake_time = osKernelSysTick();
183     while (true) {
184         Ix1 = SPI_Read(0x28);
185         Ix2 = SPI_Read(0x29);
186         Ix = (Ix2 << 8) + Ix1;
187         if (Ix ≥ 0x8000)
188             Ix = -(65536 - Ix);
189         X = Ix / 16384.0;
190
191         Iy1 = SPI_Read(0x2A);
192         Iy2 = SPI_Read(0x2B);
193         Iy = (Iy2 << 8) + Iy1;
194         if (Iy ≥ 0x8000)
195             Iy = -(65536 - Iy);
196         Y = Iy / 16384.0;
197
198         Iz1 = SPI_Read(0x2C);
199         Iz2 = SPI_Read(0x2D);
200         Iz = (Iz2 << 8) + Iz1;
201         if (Iz ≥ 0x8000)
202             Iz = -(65536 - Iz);

```

```

203     Z = Iz / 16384.0;
204
205     rotX = atan2(Y, sqrt(X * X + Z * Z)) * 180.0 / 3.1416;
206     rotY = -atan2(X, sqrt(Y * Y + Z * Z)) * 180.0 / 3.1416;
207     GIROSCOPE_set(rotX, rotY, 0);
208
209     osDelayUntil(&wake_time, T_CABEZA);
210 }
211 }

```

Listing 10: Tarea periódica de control de la inclinación de la cabeza.

De todo el código anterior, los datos se actualizan en la línea 207 en donde guardan en el objeto protegido `symptoms` (códigos 29 y 32).

Finalmente, la tarea de riesgos. Esta tarea accede a todos los objetos protegidos y además obtiene información mediante el CANBus, por lo que su programación es delicada. Dicha tarea viene definida por el código 11:

```

213 /**
214  * @brief Tarea de riesgos periódica (300 ms) que actúa directamente
215  *        sobre los distintos sensores y actuadores para alertar al
216  *        conductor de ciertos peligros o problemas. Lee de todos los
217  *        objetos protegidos pero no actualiza datos, solo muestra
218  *        información.
219  *
220  * @param args lista de posibles argumentos a usar. Vacía por defecto.
221  */
222 void risks_task(const void *args) {
223     const uint32_t T_RISKS_TASK = 300U;
224     uint32_t wake_time = osKernelSysTick();
225     float x, y;
226     bool wheel_is_grabbed;
227     int speed;
228     bool wheel_is_swerving;
229     bool is_distance_ok;
230     int risk_count = 0;
231     int working_mode = 0;
232     while (true) {
233         x = GIROSCOPE_get_X();
234         y = GIROSCOPE_get_Y();
235         wheel_is_grabbed = WHEEL_is_grabbed();
236         speed = SPEED_get();
237         wheel_is_swerving = WHEEL_get_is_swerving();
238         is_distance_ok = DISTANCE_get_security();
239         working_mode = MODE_get();
240
241         if (working_mode < 2) {
242             if (abs(x) ≥ 20 && abs(y) ≥ 20 && !wheel_is_grabbed) {
243                 if (working_mode == 0) {
244                     // Pitido lvl. 1
245                     // Luz amarilla ON
246                     HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_SET);
247                 }
248                 risk_count++;
249             }
250             if ((abs(x) ≥ 20 || abs(y) ≥ 20) && wheel_is_grabbed && speed ≥ 70) {
251                 if (working_mode == 0) {

```



```

252     // Luz amarilla ON
253     HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_SET);
254 }
255 risk_count++;
256 }
257 if (abs(x) ≥ 30 && wheel_is_swerving) {
258     if (working_mode == 0) {
259         // Pitido lvl. 2
260         // Luz amarilla ON
261         HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_SET);
262     }
263     risk_count++;
264 }
265 if (risk_count == 0) {
266     // Pitido off
267     // Luz amarilla OFF
268     HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_RESET);
269 } else if (risk_count ≥ 2) {
270     if (working_mode ≥ 0 || !is_distance_ok) {
271         // Pitido lvl. 2
272         // Luz roja
273         HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_9, GPIO_PIN_SET);
274     }
275 } else {
276     // Luz roja off
277     HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_9, GPIO_PIN_RESET);
278 }
279 } else {
280     // Pitido OFF
281     HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_RESET);
282     HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_9, GPIO_PIN_RESET);
283 }
284 risk_count = 0;
285
286 osDelayUntil(&wake_time, T_RISKS_TASK);
287 }
288 }

```

Listing 11: Tarea periódica de control de riesgos.

Lo primero que se realiza en esta tarea es comprobar si el modo de funcionamiento de las alarmas es menor a 2 (línea 241). Esto quiere decir que las alarmas están habilitadas al completo o parcialmente (un valor de 2 indicaría que ninguna alarma está activa).

Si hay un modo de alarma activado, se empiezan a realizar las comprobaciones:

- En la línea 242 se comprueba que existe una inclinación simultánea en los ejes X e Y y que además no se tiene el volante sujeto. Si está el estado de alarma básico activo (línea 243), se enciende la luz amarilla y se emite un pitido con intensidad 1.
- En la línea 250 se comprueba si la cabeza está inclinada al menos en uno de los ejes, si el volante está sujeto y si se circula a más de $70^{km/h}$, en cuyo caso se encendería la luz amarilla.
- Si se inclina la cabeza más de 30° en el eje X y se están dando volantazos (línea 257) entonces se emite un pitido nivel dos y se enciende la luz amarilla.

- Si no se ha dado ninguna situación de riesgo (`risk_count == 0`), se apaga el pitido y la luz amarilla (líneas 265 – 268). Si, por el contrario, se ha producido al menos dos riesgos se activa el pitido nivel dos y se enciende la luz roja (líneas 269 – 275). En otro caso, se apagan.

Con esta lógica, el diagrama 3 queda implementado a nivel de código. En este caso, se utilizan los objetos protegidos de síntomas (códigos 29 y 32), los que contienen los datos recibidos por el CANBus (node1 definido por 30 y 33) y el modo (códigos 28 y 31).

Finalmente, para poder recibir los datos por el CANBus se han creado dos tareas esporádicas las cuales esperan un evento para poder actualizar los valores contenidos en los objetos protegidos. Dichas funciones vienen definidas por el código 12:

```

290 /**
291  * @brief Tarea esporádica encargada únicamente de actualizar el valor
292  *        contenido de la velocidad cuando llega un mensaje por el
293  *        CANBus que contiene una cabecera #STD_ID1.
294  *
295  *        El tratamiento se realiza en una tarea esporádica para evitar
296  *        bloquear en demasía la rutina de tratamiento de interrupción
297  *        del CANBus.
298  *
299  * @param args lista de posibles argumentos a usar. Vacía por defecto.
300  */
301 void CAN_speed_task(const void *args) {
302     while (true) {
303         SPEED_wait_rcv();
304         SPEED_set(CAN_rcv());
305     }
306 }
307
308 /**
309  * @brief Tarea esporádica encargada únicamente de actualizar el valor
310  *        contenido de la distancia cuando llega un mensaje por el
311  *        CANBus que contiene una cabecera #STD_ID2.
312  *
313  *        El tratamiento se realiza en una tarea esporádica para evitar
314  *        bloquear en demasía la rutina de tratamiento de interrupción
315  *        del CANBus.
316  *
317  * @param args lista de posibles argumentos a usar. Vacía por defecto.
318  */
319 void CAN_distance_task(const void *args) {
320     while (true) {
321         DISTANCE_wait_rcv();
322         DISTANCE_set(CAN_rcvf());
323     }
324 }

```

Listing 12: Tareas esporádicas de gestión del CANBus.

Por otra parte, según la definición del código del CANBus (ver código 18), es necesario llamar a la función `CAN_Handle_IRQ` desde la rutina de tratamiento de interrupción para recibir el mensaje de forma efectiva. Por ello, es necesario editar el fichero `stm32f4xx_it.c` y añadir la llamada a la función, como se muestra en el código 13:

```

37 #include "main.h"
38 #include "stm32f4xx_it.h"
39 #include "cmsis_os.h"
40 #include "can.h"
41 /**
42  * @brief This function handles CAN1 RX0 interrupts.
43  */
44 void CAN1_RX0_IRQHandler(void)
45 {
46     /* USER CODE BEGIN CAN1_RX0_IRQn 0 */
47
48     /* USER CODE END CAN1_RX0_IRQn 0 */
49     // Handle the interruption using can.h object
50     CAN_Handle_IRQ();
51     /* USER CODE BEGIN CAN1_RX0_IRQn 1 */
52
53     /* USER CODE END CAN1_RX0_IRQn 1 */
54 }

```

Listing 13: Rutina de tratamiento de interrupción del CANBus.

3. Diseño final

4. Aclaraciones

- En los códigos 1 y 4, el mapeo se realiza con valores de entrada $[0, 255]$ porque el ADC de la placa es de 8 bits, por lo que su resolución máxima es 255.
- En diversos códigos (como 2 o 3) se utilizan eventos para la sincronización de tareas entre sí. Los eventos aparecen en la documentación estándar de FreeRTOS y constituyen un mecanismo muy sencillo y eficiente que respeta el tiempo real para bloquear y desbloquear tareas sin necesidad de programar la lógica subyacente. Un evento, en esencia, se conforma de $1 \dots n$ procesos que esperan y, en principio, un único proceso k que “produce” el evento. En ese instante, aquellas tareas que estaban esperando al evento se desbloquean y prosiguen con su ejecución; mientras tanto, el proceso k reiniciaría el evento de forma que nuevas tareas pueden esperar a que se produzca.

De esta manera, una tarea esporádica estaría esperando a que un evento se produzca y existiría una tarea periódica activadora la cual indicaría mediante dicho evento a la tarea esporádica que se tiene que ejecutar.

- En el código 8 se esperan 13 iteraciones que equivalen a un tiempo de 5,2 s (en lugar de los 5 s pedidos). Esto es debido a que el periodo no es múltiplo, por lo que se comete un error “a la alta” en lugar de “a la baja”.
- El pitido no se ha implementado a nivel de código ya que no venía especificado en los distintos diagramas a qué pin habría que conectarlo ni la lógica de control.
- En el código 12 se han implementado dos tareas esporádicas porque el CANBus recibe mensajes desde una rutina de interrupción. Como se quieren actualizar variables las

cuales utilizan un lock internamente, se deriva su gestión a un par de tareas esporádicas cuya única finalidad es la de actualizar el valor de los objetos protegidos.

5. Glosario

A. Código fuente común

A.1. Cabeceras de código

```
1 /*
2  * Copyright © 2021 - present | utils.h by Javinator9889
3  *
4  * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
5  * it under the terms of the GNU General Public License as published by
6  * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
7  * (at your option) any later version.
8  *
9  * This program is distributed in the hope that it will be useful,
10 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
11 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
12 * GNU General Public License for more details.
13 *
14 * You should have received a copy of the GNU General Public License
15 * along with this program. If not, see https://www.gnu.org/licenses/.
16 *
17 * Created by Javinator9889 on 10/04/21 - utils.h.
18 */
19 #ifndef UTILS_H
20 #define UTILS_H
21 #include <stdint.h>
22
23 // Gets the size of an array
24 #define arrsize(array) (sizeof (array) / sizeof *(array))
25
26 // Iterates through an array
27 #define foreach(idxtype, item, array) \
28     idxtype* item; \
29     size_t size = arrsize(array); \
30     for (item = array; item < (array + size); ++item)
31
32 /**
33  * @brief Custom datatype representing the union of
34  *        a float value and its representation as a
35  *        array of four bytes. Useful when converting
36  *        from float to bytes and viceversa.
37  */
38 typedef union float_u {
39     float float_var;
40     uint8_t bytes_repr[4];
41 } FloatU_t;
42
43
44 int map(int, int, int, int, int);
```

```
45|
46| void f2b(float, uint8_t*);
47| float b2f(uint8_t*);
48|
49| #endif /* UTILS_H */
```

Listing 14: Cabecera con funciones de utilidad.

```
1 /*
2  * Copyright © 2021 - present | can.h by Javinator9889
3  *
4  * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
5  * it under the terms of the GNU General Public License as published by
6  * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
7  * (at your option) any later version.
8  *
9  * This program is distributed in the hope that it will be useful,
10 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
11 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
12 * GNU General Public License for more details.
13 *
14 * You should have received a copy of the GNU General Public License
15 * along with this program. If not, see https://www.gnu.org/licenses/.
16 *
17 * Created by Javinator9889 on 10/04/21 - can.h.
18 */
19 #ifndef CAN_H
20 #define CAN_H
21 #include <FreeRTOSConfig.h>
22 #include <stdint.h>
23 #include <stm32f4xx_hal.h>
24 #ifndef CAN1
25 #define CAN1
26 #endif
27
28 // Standard TX/RX ID 1
29 extern const uint32_t STD_ID1;
30
31 // Standard TX/RX ID 2
32 extern const uint32_t STD_ID2;
33
34 // High filter ID
35 extern const uint32_t HFILTER_ID;
36
37 #ifdef NODE_2
38 // High filter mask for node 2 only
39 extern const uint32_t HFILTER_MASK;
40 #endif
41
42 void CAN_init(void);
43
44 void CAN_sendi(uint8_t);
45
46 void CAN_sendf(float);
47
48 uint8_t CAN_recv(void);
49
50 float CAN_recvf(void);
```

```
51|
52| void CAN_Handle_IRQ(void);
53|
54| #endif /* CAN_H */
```

Listing 15: Cabecera de la librería CANBus.

```
1 /*
2  * Copyright © 2021 - present | lock_h by Javinator9889
3  *
4  * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
5  * it under the terms of the GNU General Public License as published by
6  * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
7  * (at your option) any later version.
8  *
9  * This program is distributed in the hope that it will be useful,
10 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
11 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
12 * GNU General Public License for more details.
13 *
14 * You should have received a copy of the GNU General Public License
15 * along with this program. If not, see https://www.gnu.org/licenses/.
16 *
17 * Created by Javinator9889 on 05/03/21 - lock_h.
18 */
19
20 #ifndef LOCK_H
21 #define LOCK_H
22 #include <FreeRTOS.h>
23 #include <stddef.h>
24 #include <semphr.h>
25
26 // Custom data type used for identifying LOCK created locks.
27 typedef SemaphoreHandle_t Lock_t;
28
29 Lock_t LOCK_create(StaticSemaphore_t*);
30 void LOCK_destroy(Lock_t);
31 long LOCK_acquire(Lock_t);
32 void LOCK_release(Lock_t);
33
34 #endif /* LOCK_H */
```

Listing 16: Cabecera de la librería lock.

A.2. Cuerpo del código

```
1 /*
2  * Copyright © 2021 - present | utils.c by Javinator9889
3  *
4  * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
5  * it under the terms of the GNU General Public License as published by
6  * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
7  * (at your option) any later version.
8  *
9  * This program is distributed in the hope that it will be useful,
10 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
```

```
11 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
12 * GNU General Public License for more details.
13 *
14 * You should have received a copy of the GNU General Public License
15 * along with this program. If not, see https://www.gnu.org/licenses/.
16 *
17 * Created by Javinator9889 on 10/04/21 - utils.c.
18 */
19 #include "utils.h"
20
21 /**
22 * @brief Maps a given value in between a given proportional range.
23 *
24 * @param x          the value to map.
25 * @param in_min     the minimum input value to map.
26 * @param in_max     the maximum input value to map.
27 * @param out_min    the minimum output value to produce.
28 * @param out_max    the maximum output value to produce.
29 * @return int - the 'x' value mapped in between [out_min, out_max].
30 */
31 int map(int x, int in_min, int in_max, int out_min, int out_max) {
32     return (int)((x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min)
33     ↪ ;
34 }
35
36 /**
37 * @brief With the given float value, produces the equivalent 4 bytes
38 *        representing that value.
39 *
40 *        Notice that this function relies on that a float is 4 bytes
41 *        in memory. Higher (or lower) values will require this method
42 *        to be overwritten.
43 *
44 * @param value the input float to convert.
45 * @param bytes the output bytes array (4) to produce.
46 */
47 void f2b(float value, uint8_t bytes[4]) {
48     FloatU_t u;
49
50     u.float_var = value;
51     memcpy(bytes, u.bytes_repr, 4);
52 }
53
54 /**
55 * @brief With the given bytes array, produces the equivalent float value
56 *        represented by that 4 bytes.
57 *
58 *        Notice that this function relies on that a float is 4 bytes
59 *        in memory. Higher (or lower) values will require this method
60 *        to be overwritten.
61 *
62 * @param bytes the input bytes array (4) to read.
63 * @return float - the converted float data from bytes.
64 */
65 float b2f(uint8_t bytes[4]) {
66     FloatU_t u;
67     memcpy(u.bytes_repr, bytes, 4);
```

```
68 |     return u.float_var;  
69 | }
```

Listing 17: Cuerpo de las funciones de utilidad.

```
1  /*  
2  * Copyright © 2021 - present | can.c by Javinator9889  
3  *  
4  * This program is free software: you can redistribute it and/or modify  
5  * it under the terms of the GNU General Public License as published by  
6  * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or  
7  * (at your option) any later version.  
8  *  
9  * This program is distributed in the hope that it will be useful,  
10 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of  
11 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the  
12 * GNU General Public License for more details.  
13 *  
14 * You should have received a copy of the GNU General Public License  
15 * along with this program. If not, see https://www.gnu.org/licenses/.  
16 *  
17 * Created by Javinator9889 on 10/04/21 - can.c.  
18 */  
19 #include "can.h"  
20 #include <stm32f4xx_hal.h>  
21 #include <FreeRTOS.h>  
22 #include <FreeRTOSConfig.h>  
23 #include <task.h>  
24 #include <stdint.h>  
25 #include "utils.h"  
26 #ifdef NODE_2  
27 #include "node1.h"  
28 #endif  
29  
30 const uint32_t STD_ID1 = 0x6FA;  
31 const uint32_t STD_ID2 = 0x6FB;  
32 const uint32_t HFILTER_ID = 0x6FF << 5;  
33  
34 #ifdef NODE_2  
35 const uint32_t HFILTER_MASK = 0x7F0 << 5;  
36 #endif  
37  
38 static volatile CAN_HandleTypeDef hcan1;  
39 #ifndef NODE_2  
40 static volatile CAN_TxHeaderTypeDef tx_header;  
41 static volatile CAN_TxHeaderTypeDef tx_header2;  
42 #else  
43 static volatile CAN_RxHeaderTypeDef rx_header;  
44 #endif  
45 static volatile uint32_t tx_mailbox;  
46  
47 static volatile uint8_t byte_sent = 0;  
48 static volatile uint8_t byte_rcv = 0;  
49 static volatile float float_rcv = .0F;  
50  
51 static volatile CAN_FilterTypeDef filter_config;  
52  
53 /**
```



```
54  * @brief CAN1 Initialization Function - extracted from main.
55  */
56  static void MX_CAN1_Init(void) {
57      hcan1.Instance = CAN1;
58      hcan1.Init.Prescaler = 21U;
59      hcan1.Init.Mode = CAN_MODE_NORMAL;
60      hcan1.Init.SyncJumpWidth = CAN_SJW_1TQ;
61      hcan1.Init.TimeSeg1 = CAN_BS1_12TQ;
62      hcan1.Init.TimeSeg2 = CAN_BS2_4TQ;
63      hcan1.Init.TimeTriggeredMode = DISABLE;
64      hcan1.Init.AutoBusOff = DISABLE;
65      hcan1.Init.AutoWakeUp = DISABLE;
66      hcan1.Init.AutoRetransmission = DISABLE;
67      hcan1.Init.ReceiveFifoLocked = DISABLE;
68      hcan1.Init.TransmitFifoPriority = DISABLE;
69
70      configASSERT(HAL_CAN_Init(&hcan1) == HAL_OK);
71  }
72
73  /**
74   * @brief Initializes CANBus communications. This function
75   * must be called early during initialization at main() as
76   * the CAN functions won't work (and will block forever)
77   * if called.
78   */
79  void CAN_init(void) {
80      MX_CAN1_Init();
81  #ifndef NODE_2
82      // Message size of 1 byte
83      tx_header.DLC = 1U;
84      // Identifier to standard
85      tx_header.IDE = CAN_ID_STD;
86      // Data type to remote transmission
87      tx_header.RTR = CAN_RTR_DATA;
88      // Standard identifier
89      tx_header.StdId = STD_ID1;
90
91      // Message size of 4 bytes (float)
92      tx_header2.DLC = 4U;
93      // Identifier to standard
94      tx_header2.IDE = CAN_ID_STD;
95      // Data type to remote transmission
96      tx_header2.RTR = CAN_RTR_DATA;
97      // Standard identifier
98      tx_header2.StdId = STD_ID2;
99  #endif
100
101      // Filter one (stack light blink)
102      filter_config.FilterFIFOAssignment = CAN_FILTER_FIFO0;
103      // ID we're looking for
104      filter_config.FilterIdHigh = HFILTER_ID;
105      filter_config.FilterIdLow = 0U;
106
107  #ifndef NODE_2
108      filter_config.FilterMaskIdHigh = 0U;
109  #else
110      filter_config.FilterMaskIdHigh = HFILTER_MASK;
111      filter_config.FilterMode = CAN_FILTERMODE_IDMASK;
```

```
112 #endif
113     filter_config.FilterMaskIdLow = 0U;
114
115     filter_config.FilterScale = CAN_FILTERSCALE_32BIT;
116     filter_config.FilterActivation = ENABLE;
117
118     // Setup CAN filter
119     HAL_CAN_ConfigFilter(&hcan1, &filter_config);
120     HAL_CAN_Start(&hcan1);
121     HAL_CAN_ActivateNotification(&hcan1, CAN_IT_RX_FIFO0_MSG_PENDING);
122 }
123
124 /**
125  * @brief Sends a byte through the CANBus using the #STD_ID1
126  *        message identifier.
127  *
128  *        Note: this method will do nothing if NODE_2 is defined.
129  *
130  * @param b the byte to send.
131  */
132 void CAN_sendi(uint8_t b) {
133 #ifndef NODE_2
134     byte_sent = b;
135     HAL_CAN_AddTxMessage(&hcan1, &tx_header, &byte_sent, &tx_mailbox);
136 #endif
137 }
138
139 /**
140  * @brief Sends a float through the CANBus using the #STD_ID2
141  *        message identifier.
142  *
143  *        Note: this method will do nothing if NODE_2 is defined.
144  *
145  * @param value the float value to send.
146  * @see f2b(float, uint8_t*)
147  */
148 void CAN_sendf(float value) {
149 #ifndef NODE_2
150     uint8_t bytes[4];
151     f2b(value, bytes);
152     HAL_CAN_AddTxMessage(&hcan1, &tx_header2, &bytes[0], &tx_mailbox);
153 #endif
154 }
155
156 /**
157  * @brief When a message arrives, the received byte (if any) is stored in
158  *        a private variable. Use this method to recover its value.
159  *
160  *        Notice that this value will only be updated when the received
161  *        message ID matches the #STD_ID1.
162  *
163  * @return uint8_t the stored byte.
164  */
165 uint8_t CAN_rcv(void) {
166     return byte_rcv;
167 }
168
169 /**
```

```
170 | * @brief When a message arrives, the received float (if any) is stored in
171 | *       a private variable. Use this method to recover its value.
172 | *
173 | *       Notice that this value will only be updated when the received
174 | *       message ID matches the #STD_ID2.
175 | *
176 | * @return float - the stored float.
177 | */
178 | float CAN_recvf(void) {
179 |     return float_recv;
180 | }
181 |
182 | /**
183 | * @brief This method must be called if the board wants to receive
184 | *       CANBus messages during the CANBus interruption routine.
185 | *
186 | *       By filtering the ID, identifies whether the received array
187 | *       is either a single byte or a float value.
188 | *
189 | *       In addition, this method sets a flag at the respective
190 | *       protected objects indicating that a new message is received
191 | *       and is ready to be used (notice that this method is called
192 | *       from an IRQ, so the processing must be as efficient as
193 | *       possible. In this function, setting a flag is easy and
194 | *       not blocking - at least not as much as changing a lock/semaphore).
195 | *
196 | *       The affected protected objects are the ones that store the
197 | *       SPEED and the DISTANCE.
198 | *
199 | * @see node1.h
200 | */
201 | void CAN_Handle_IRQ(void) {
202 |     HAL_CAN_IRQHandler(&hcan1);
203 | #ifdef NODE_2
204 |     uint8_t bytes[4];
205 |     HAL_CAN_GetRxMessage(&hcan1, CAN_RX_FIFO0, &rx_header, &bytes);
206 |     if (rx_header.StdId == STD_ID1) {
207 |         byte_recv = bytes[0];
208 |         SPEED_set_recv();
209 |     }
210 |     if (rx_header.StdId == STD_ID2) {
211 |         float_recv = b2f(&bytes[0]);
212 |         DISTANCE_set_recv();
213 |     }
214 | #endif
215 | }
```

Listing 18: Cuerpo de la librería CANBus.

```
1 | /*
2 | * Copyright © 2021 - present | lock_c by Javinator9889
3 | *
4 | * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
5 | * it under the terms of the GNU General Public License as published by
6 | * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
7 | * (at your option) any later version.
8 | *
9 | * This program is distributed in the hope that it will be useful,
```

```
10 | * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
11 | * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
12 | * GNU General Public License for more details.
13 | *
14 | * You should have received a copy of the GNU General Public License
15 | * along with this program. If not, see https://www.gnu.org/licenses/.
16 | *
17 | * Created by Javinator9889 on 05/03/21 - lock_c.
18 | */
19 | #include "lock.h"
20 | #include <FreeRTOS.h>
21 | #include <FreeRTOSConfig.h>
22 | #include <portmacro.h>
23 | #include <projdefs.h>
24 | #include <semphr.h>
25 | #include "task.h"
26 |
27 | /**
28 | * @brief creates a new lock (mutex) using FreeRTOS API. In addition,
29 | *       some health checks are performed in order to return a valid
30 | *       lock or, in other case, to block the execution forever
31 | *       (both configASSERT will block if the condition is not met).
32 | *
33 | *       In addition, the ability to create static mutexes is given
34 | *       to the function if #mutexBuffer is not NULL and if
35 | *       #configSUPPORT_STATIC_ALLOCATION equals 1. In other case,
36 | *       a lock allocated in heap will be created.
37 | *
38 | * @param mutexBuffer pointer to the static semaphore memory region.
39 | *       NULL if wanna create a heap-based semaphore.
40 | * @return Lock_t - the created lock.
41 | */
42 | Lock_t LOCK_create(StaticSemaphore_t *mutexBuffer) {
43 |     SemaphoreHandle_t xSemaphore = NULL;
44 |     BaseType_t xReturned;
45 |
46 |     #if defined(configSUPPORT_STATIC_ALLOCATION) && (configSUPPORT_STATIC_ALLOCATION
47 |     ↪ = 1)
48 |         if (mutexBuffer ≠ NULL) xSemaphore = xSemaphoreCreateMutexStatic(
49 |         ↪ mutexBuffer);
50 |     else
51 |         #endif
52 |         xSemaphore = xSemaphoreCreateMutex();
53 |
54 |     configASSERT(xSemaphore ≠ NULL);
55 |     configASSERT(xSemaphoreGive(xSemaphore) ≠ pdTRUE);
56 |
57 |     return (Lock_t) xSemaphore;
58 | }
59 |
60 | /**
61 | * @brief destroys the given lock (release from memory). After called,
62 | *       the memory will be empty and the lock cannot be used anymore.
63 | *
64 | * @param sem the lock to destroy.
65 | */
66 | inline void LOCK_destroy(Lock_t sem) {
67 |     vSemaphoreDelete((SemaphoreHandle_t) sem);
68 | }
```

```
66 | }
67 |
68 | /**
69 |  * @brief tries to acquire the given lock, blocking forever if necessary.
70 |  *
71 |  * @param sem the lock to acquire.
72 |  * @return long - #pdTRUE if the semaphore was acquired. #pdFALSE otherwise.
73 |  */
74 | inline long LOCK_acquire(Lock_t sem) {
75 |     configASSERT(sem != NULL);
76 |     return xSemaphoreTake((SemaphoreHandle_t) sem, portMAX_DELAY);
77 | }
78 |
79 | /**
80 |  * @brief tries to release the given lock, blocking forever if empty (lock is
81 |  *      NULL).
82 |  *
83 |  * @param sem the lock to release.
84 |  */
85 | inline void LOCK_release(Lock_t sem) {
86 |     configASSERT(sem != NULL);
87 |     xSemaphoreGive((SemaphoreHandle_t) sem);
88 | }
```

Listing 19: Cuerpo de la librería lock.

B. Código fuente nodo 1

B.1. Cabeceras de código

```
1 | /*
2 |  * Copyright © 2021 - present | speed.h by Javinator9889
3 |  *
4 |  * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
5 |  * it under the terms of the GNU General Public License as published by
6 |  * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
7 |  * (at your option) any later version.
8 |  *
9 |  * This program is distributed in the hope that it will be useful,
10 |  * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
11 |  * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
12 |  * GNU General Public License for more details.
13 |  *
14 |  * You should have received a copy of the GNU General Public License
15 |  * along with this program. If not, see https://www.gnu.org/licenses/.
16 |  *
17 |  * Created by Javinator9889 on 05/03/21 - speed.h.
18 |  */
19 | #ifndef SPEED_H
20 | #define SPEED_H
21 | #include <FreeRTOS.h>
22 | #include <stddef.h>
23 | #include <semphr.h>
24 |
```

```
25 void SPEED_init(void);
26 void SPEED_set(int);
27 int SPEED_get(void);
28
29 #endif /* SPEED_H */
```

Listing 20: Cabecera del objeto protegido speed.

```
1 /*
2  * Copyright © 2021 - present | uss.h by Javinator9889
3  *
4  * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
5  * it under the terms of the GNU General Public License as published by
6  * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
7  * (at your option) any later version.
8  *
9  * This program is distributed in the hope that it will be useful,
10 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
11 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
12 * GNU General Public License for more details.
13 *
14 * You should have received a copy of the GNU General Public License
15 * along with this program. If not, see https://www.gnu.org/licenses/.
16 *
17 * Created by Javinator9889 on 26/03/21 - uss.h.
18 */
19 #ifndef USS_H
20 #define USS_H
21 #include <stdint.h>
22
23 uint32_t USS_read_distance(void);
24
25 #endif
```

Listing 21: Cabecera del controlador de ultrasonidos.

```
1 /*
2  * Copyright © 2021 - present | distance.h by Javinator9889
3  *
4  * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
5  * it under the terms of the GNU General Public License as published by
6  * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
7  * (at your option) any later version.
8  *
9  * This program is distributed in the hope that it will be useful,
10 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
11 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
12 * GNU General Public License for more details.
13 *
14 * You should have received a copy of the GNU General Public License
15 * along with this program. If not, see https://www.gnu.org/licenses/.
16 *
17 * Created by Javinator9889 on 13/03/21 - distance.h.
18 */
19 #ifndef DISTANCE_H
20 #define DISTANCE_H
21
22 void DISTANCE_init(void);
```

```
23 void DISTANCE_set(float);
24 float DISTANCE_get(void);
25 void DISTANCE_delete(void);
26 void BRAKE_intensity_set(int);
27 int BRAKE_intensity_get(void);
28
29 #endif /* DISTANCE_H */
```

Listing 22: Cabecera del objeto protegido distance.

```
1 /*
2  * Copyright © 2021 - present | brake.h by Javinator9889
3  *
4  * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
5  * it under the terms of the GNU General Public License as published by
6  * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
7  * (at your option) any later version.
8  *
9  * This program is distributed in the hope that it will be useful,
10 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
11 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
12 * GNU General Public License for more details.
13 *
14 * You should have received a copy of the GNU General Public License
15 * along with this program. If not, see https://www.gnu.org/licenses/.
16 *
17 * Created by Javinator9889 on 26/03/21 - brake.h.
18 */
19 #ifndef BRAKE_H
20 #define BRAKE_H
21
22 // The BIT flag set used for identifying if the flag
23 // is set or not.
24 #define BIT_SET (0x02UL)
25
26 void BRAKE_init(void);
27 void BRAKE_wait_event(void);
28 void BRAKE_set_event(void);
29 void BRAKE_clr(void);
30
31 #endif /* BRAKE_H */
```

Listing 23: Cabecera del objeto protegido brake.

B.2. Cuerpo del código

```
1 /*
2  * Copyright © 2021 - present | speed.c by Javinator9889
3  *
4  * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
5  * it under the terms of the GNU General Public License as published by
6  * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
7  * (at your option) any later version.
8  *
9  * This program is distributed in the hope that it will be useful,
10 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
```

```
11  * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
12  * GNU General Public License for more details.
13  *
14  * You should have received a copy of the GNU General Public License
15  * along with this program. If not, see https://www.gnu.org/licenses/.
16  *
17  * Created by Javinator9889 on 05/03/21 - speed.c.
18  */
19  #include "speed.h"
20  #include <lock.h>
21  #include <semphr.h>
22  #include <FreeRTOS.h>
23  #include <FreeRTOSConfig.h>
24  #include <task.h>
25
26  // Private variable containing the speed lock.
27  static Lock_t SPEED_sem = NULL;
28  // Private variable containing the speed itself.
29  static int SPEED_speed = 0;
30
31  /**
32   * @brief Initializes the speed protected object.
33   *
34   * This method must be called during the early boot as,
35   * until then, any call to any method will fail and block
36   * forever.
37   *
38   */
39  void SPEED_init(void) {
40      SPEED_sem = LOCK_create(NULL);
41  }
42
43  /**
44   * @brief Safely updates the stored speed value.
45   *
46   * @param speed the new speed.
47   */
48  void SPEED_set(int speed) {
49      LOCK_acquire(SPEED_sem);
50      SPEED_speed = speed;
51      LOCK_release(SPEED_sem);
52  }
53
54  /**
55   * @brief Safely obtains the stored speed value.
56   *
57   * @return int - the speed. If any error occurs, returns -1.
58   */
59  int SPEED_get(void) {
60      int speed = -1;
61      LOCK_acquire(SPEED_sem);
62      speed = SPEED_speed;
63      LOCK_release(SPEED_sem);
64      return speed;
65  }
```

Listing 24: Cuerpo del objeto protegido speed.


```
1  /*
2  * Copyright © 2021 - present | uss.c by Javinator9889
3  *
4  * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
5  * it under the terms of the GNU General Public License as published by
6  * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
7  * (at your option) any later version.
8  *
9  * This program is distributed in the hope that it will be useful,
10 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
11 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
12 * GNU General Public License for more details.
13 *
14 * You should have received a copy of the GNU General Public License
15 * along with this program. If not, see https://www.gnu.org/licenses/.
16 *
17 * Created by Javinator9889 on 26/03/21 - uss.c.
18 */
19 #include "uss.h"
20 #include <FreeRTOS.h>
21 #include <FreeRTOSConfig.h>
22 #include <task.h>
23 #include <stm32f4xx_hal.h>
24 #include "dwt_stm32_delay.h"
25
26 /**
27 * @brief Reads the measured distance from the ultrasonic sensor.
28 *
29 * @return uint32_t - the measured distance, in meters.
30 */
31 uint32_t USS_read_distance(void) {
32     __IO uint8_t flag = 0;
33     __IO uint32_t disTime = 0;
34
35     HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_10, GPIO_PIN_SET);
36     DWT_Delay_us(10);
37     HAL_GPIO_WritePin(GPIOD, GPIO_PIN_10, GPIO_PIN_RESET);
38
39     while(flag == 0) {
40         while(HAL_GPIO_ReadPin(GPIOD, GPIO_PIN_11) == GPIO_PIN_SET) {
41             disTime++;
42             flag = 1;
43         }
44     }
45     return disTime;
46 }
```

Listing 25: Cuerpo del controlador de ultrasonidos.

```
1  /*
2  * Copyright © 2021 - present | distance.c by Javinator9889
3  *
4  * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
5  * it under the terms of the GNU General Public License as published by
6  * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
7  * (at your option) any later version.
8  *
9  * This program is distributed in the hope that it will be useful,
```

```
10 | * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
11 | * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
12 | * GNU General Public License for more details.
13 | *
14 | * You should have received a copy of the GNU General Public License
15 | * along with this program. If not, see https://www.gnu.org/licenses/.
16 | *
17 | * Created by Javinator9889 on 13/03/21 - distance.c.
18 | */
19 | #include "distance.h"
20 | #include <lock.h>
21 | #include <semphr.h>
22 | #include <FreeRTOS.h>
23 | #include <FreeRTOSConfig.h>
24 | #include <task.h>
25 |
26 | // Private variable for locking distance instance
27 | static Lock_t INSTANCE_sem = NULL;
28 | // Private variable that stores the distance itself.
29 | static volatile float DISTANCE_distance = 0;
30 | // Private variable that stores the brake intensity itself.
31 | static volatile int BRAKE_intensity = 0;
32 |
33 | /**
34 | * @brief Initializes the distance protected object alongside
35 | *       the brake intensity one (both share the same lock).
36 | *
37 | *       This method must be called during the early boot as,
38 | *       until then, any call to any method will fail and block
39 | *       forever.
40 | */
41 | void DISTANCE_init(void) {
42 |     INSTANCE_sem = LOCK_create(NULL);
43 | }
44 |
45 | /**
46 | * @brief Safely updates the stored distance value.
47 | *
48 | * @param distance the new distance.
49 | */
50 | void DISTANCE_set(float distance) {
51 |     LOCK_acquire(INSTANCE_sem);
52 |     DISTANCE_distance = distance;
53 |     LOCK_release(INSTANCE_sem);
54 | }
55 |
56 | /**
57 | * @brief Safely obtains the stored distance value.
58 | *
59 | * @return float - the stored distance.
60 | */
61 | float DISTANCE_get(void) {
62 |     float distance = -1;
63 |     LOCK_acquire(INSTANCE_sem);
64 |     distance = DISTANCE_distance;
65 |     LOCK_release(INSTANCE_sem);
66 |     return distance;
67 | }
```

```
68
69 /**
70  * @brief Deletes all stored objects and resets the
71  *        distance value. After this method call,
72  *        all subsequent calls will fail until
73  *        #DISTANCE_init is called again.
74  *
75  */
76 void DISTANCE_delete(void) {
77     LOCK_destroy(INSTANCE_sem);
78     INSTANCE_sem = NULL;
79     DISTANCE_distance = 0;
80     BRAKE_intensity = 0;
81 }
82
83 /**
84  * @brief Safely updates the brake intensity value.
85  *
86  * @param intensity the new intensity.
87  */
88 void BRAKE_intensity_set(int intensity) {
89     LOCK_acquire(INSTANCE_sem);
90     BRAKE_intensity = intensity;
91     LOCK_release(INSTANCE_sem);
92 }
93
94 /**
95  * @brief Safely obtains the stored brake intensity value.
96  *
97  * @return int - the stored intensity value.
98  */
99 int BRAKE_intensity_get(void) {
100     int intensity = -1;
101     LOCK_acquire(INSTANCE_sem);
102     intensity = BRAKE_intensity;
103     LOCK_release(INSTANCE_sem);
104     return intensity;
105 }
```

Listing 26: Cuerpo del objeto protegido distance.

```
1 /*
2  * Copyright © 2021 - present | brake.c by Javinator9889
3  *
4  * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
5  * it under the terms of the GNU General Public License as published by
6  * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
7  * (at your option) any later version.
8  *
9  * This program is distributed in the hope that it will be useful,
10  * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
11  * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
12  * GNU General Public License for more details.
13  *
14  * You should have received a copy of the GNU General Public License
15  * along with this program. If not, see https://www.gnu.org/licenses/.
16  *
17  * Created by Javinator9889 on 13/03/21 - brake.c.
```

```
18  */
19  #include "brake.h"
20  #include <FreeRTOS.h>
21  #include <FreeRTOSConfig.h>
22  #include <task.h>
23  #include <event_groups.h>
24
25  // Private variable storing the BRAKE flag
26  static EventGroupHandle_t BRAKE_event = NULL;
27
28  /**
29   * @brief Initializes BRAKE protected object. This method must be called
30   *        during the early boot of the application in order to be able
31   *        to use the object's methods.
32   *
33   */
34  void BRAKE_init(void) {
35      BRAKE_event = xEventGroupCreate();
36  }
37
38  /**
39   * @brief Waits until the BRAKE event flag is set. Then, resets
40   *        the event itself so it can wait for it again.
41   *
42   */
43  void BRAKE_wait_event(void) {
44      configASSERT(BRAKE_event != NULL);
45      xEventGroupWaitBits(BRAKE_event, BIT_SET, pdTRUE, pdFALSE, portMAX_DELAY);
46  }
47
48  /**
49   * @brief Updates the flag #BRAKE_event indicating that the
50   *        brake intensity has changed so the brake task must run.
51   *
52   *        Notice that this method is not intended to be called from
53   *        an ISR.
54   *
55   */
56  void BRAKE_set_event(void) {
57      configASSERT(BRAKE_event != NULL);
58      xEventGroupSetBits(BRAKE_event, BIT_SET);
59  }
60
61  /**
62   * @brief Clears the BRAKE protected object, making all
63   *        further calls to protected object's methods
64   *        fail and block forever.
65   *
66   *        A successful call to #BRAKE_init will allow
67   *        new tasks to access these methods.
68   *
69   */
70  void BRAKE_clr(void) {
71      xEventGroupClearBits(BRAKE_event, BIT_SET);
72      vEventGroupDelete(BRAKE_event);
73  }
```

Listing 27: Cuerpo del objeto protegido brake.

C. Código fuente nodo 2

C.1. Cabeceras de código

```
1 #ifndef MODE_H
2 #define MODE_H
3
4 void MODE_init(void);
5 void MODE_set(int);
6 int MODE_get(void);
7
8 #endif /* MODE_H */
```

Listing 28: Cabecera del objeto protegido mode.

```
1 /*
2  * Copyright © 2021 - present | symptoms.h by Javinator9889
3  *
4  * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
5  * it under the terms of the GNU General Public License as published by
6  * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
7  * (at your option) any later version.
8  *
9  * This program is distributed in the hope that it will be useful,
10 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
11 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
12 * GNU General Public License for more details.
13 *
14 * You should have received a copy of the GNU General Public License
15 * along with this program. If not, see https://www.gnu.org/licenses/.
16 *
17 * Created by Javinator9889 on 26/03/21 - symptoms.h.
18 */
19 #ifndef SYMPTOMS_H
20 #define SYMPTOMS_H
21 #include <stdbool.h>
22
23 void SYMPTOMS_init(void);
24
25 void GIROSCOPE_set(float, float, float);
26 float GIROSCOPE_get_X(void);
27 float GIROSCOPE_get_Y(void);
28 float GIROSCOPE_get_Z(void);
29
30 void WHEEL_set(int);
31 int WHEEL_get(void);
32
33 void WHEEL_set_is_swerving(bool);
34 bool WHEEL_get_is_swerving(void);
35 bool WHEEL_update_swerving(int);
36
37 void WHEEL_grab(bool);
38 bool WHEEL_is_grabbed(void);
39
40 #endif /* SYMPTOMS_H */
```

Listing 29: Cabecera del objeto protegido symptoms.

```
1 /*
2  * Copyright © 2021 - present | node1.h by Javinator9889
3  *
4  * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
5  * it under the terms of the GNU General Public License as published by
6  * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
7  * (at your option) any later version.
8  *
9  * This program is distributed in the hope that it will be useful,
10 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
11 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
12 * GNU General Public License for more details.
13 *
14 * You should have received a copy of the GNU General Public License
15 * along with this program. If not, see https://www.gnu.org/licenses/.
16 *
17 * Created by Javinator9889 on 22/04/21 - node1.h.
18 */
19 #ifndef NODE1_H
20 #define NODE1_H
21 #include <stdbool.h>
22
23 // The BIT flag set used for identifying if the flag
24 // is set or not.
25 #define BIT_SET (0x02UL)
26
27 void NODE1_init(void);
28
29 void SPEED_set(int);
30 int SPEED_get(void);
31 void SPEED_set_recv(void);
32 void SPEED_wait_recv(void);
33
34 void DISTANCE_set(float);
35 float DISTANCE_get(void);
36 bool DISTANCE_get_security(void);
37 void DISTANCE_set_recv(void);
38 void DISTANCE_wait_recv(void);
39
40 #endif /* NODE1_H */
```

Listing 30: Cabecera del objeto protegido node1.

C.2. Cuerpo del código

```
1 /*
2  * Copyright © 2021 - present | modes.c by Javinator9889
3  *
4  * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
5  * it under the terms of the GNU General Public License as published by
6  * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
7  * (at your option) any later version.
8  *
9  * This program is distributed in the hope that it will be useful,
10 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
```

```
11  * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
12  * GNU General Public License for more details.
13  *
14  * You should have received a copy of the GNU General Public License
15  * along with this program. If not, see https://www.gnu.org/licenses/.
16  *
17  * Created by Javinator9889 on 26/03/21 - modes.c.
18  */
19 #include "modes.h"
20 #include <lock.h>
21 #include <FreeRTOS.h>
22 #include <FreeRTOSConfig.h>
23
24 // Private variable storing protected object lock.
25 static Lock_t MODE_sem = NULL;
26
27 // Private variable storing the mode itself.
28 static int MODE_mode = 0;
29
30 /**
31  * @brief Initializes the protected object itself. This method
32  * must be called during code initialization so the other
33  * methods calls would work.
34  */
35 void MODE_init(void) {
36     MODE_sem = LOCK_create(NULL);
37 }
38
39 /**
40  * @brief Updates the stored mode safely using the #MODE_sem lock.
41  *
42  * @param mode the new mode to store.
43  */
44 void MODE_set(int mode) {
45     if (LOCK_acquire(MODE_sem) == pdTRUE) {
46         MODE_mode = mode;
47         LOCK_release(MODE_sem);
48     }
49 }
50
51 /**
52  * @brief Obtains safely the stored mode, using the #MODE_sem lock.
53  *
54  * @return int - the stored mode. If any error occurs, returns -1.
55  */
56 int MODE_get(void) {
57     int mode = -1;
58     if (LOCK_acquire(MODE_sem) == pdTRUE) {
59         mode = MODE_mode;
60         LOCK_release(MODE_sem);
61     }
62     return mode;
63 }
```

Listing 31: Cuerpo del objeto protegido mode.

```
1  /*
2  * Copyright © 2021 - present | symptoms.h by Javinator9889
```

```
3  *
4  * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
5  * it under the terms of the GNU General Public License as published by
6  * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
7  * (at your option) any later version.
8  *
9  * This program is distributed in the hope that it will be useful,
10 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
11 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
12 * GNU General Public License for more details.
13 *
14 * You should have received a copy of the GNU General Public License
15 * along with this program. If not, see https://www.gnu.org/licenses/.
16 *
17 * Created by Javinator9889 on 26/03/21 - symptoms.h.
18 */
19 #include "symptoms.h"
20 #include <stdlib.h>
21 #include <lock.h>
22 #include <semphr.h>
23 #include <FreeRTOS.h>
24 #include <FreeRTOSConfig.h>
25 #include <task.h>
26 #include <stdbool.h>
27
28 // Private variable storing the SYMPTOMS1 lock.
29 static Lock_t SYMPTOMS1_sem = NULL;
30
31 // Private variable storing the SYMPTOMS1 lock.
32 static Lock_t SYMPTOMS2_sem = NULL;
33
34 // Private variable storing giroscope X value.
35 static float GIROSCOPE_x = .0F;
36 // Private variable storing giroscope Y value.
37 static float GIROSCOPE_y = .0F;
38 // Private variable storing giroscope Z value.
39 static float GIROSCOPE_z = .0F;
40
41 // Private variable storing the steering wheel position.
42 static int WHEEL_old_position = 0;
43 static int WHEEL_position = 0;
44 // Private variable for setting if the steering wheel is swerving
45 // or not
46 static bool WHEEL_is_swerving = false;
47 // Private variable storing whether the steering wheel is
48 // grabbed or not
49 static bool WHEEL_status_grab = false;
50
51 /**
52  * @brief Initializes the protected object containing the symptoms.
53  * This method must be called during the early boot of the
54  * code so the rest of the methods available will work
55  * as expected.
56  */
57 void SYMPTOMS_init(void) {
58     SYMPTOMS1_sem = LOCK_create(NULL);
59     SYMPTOMS2_sem = LOCK_create(NULL);
60 }
```



```
61 |
62 | /**
63 |  * @brief Safely updates the stored values of the giroscope positions.
64 |  *
65 |  * @param x the new X position.
66 |  * @param y the new Y position.
67 |  * @param z the new Z position.
68 |  */
69 | void GIROSCOPE_set(float x, float y, float z) {
70 |     LOCK_acquire(SYMPTOMS1_sem);
71 |     GIROSCOPE_x = x;
72 |     GIROSCOPE_y = y;
73 |     GIROSCOPE_z = z;
74 |     LOCK_release(SYMPTOMS1_sem);
75 | }
76 |
77 | /**
78 |  * @brief Safely obtains the X value of the giroscope.
79 |  *
80 |  * @return float - the X value.
81 |  */
82 | float GIROSCOPE_get_X(void) {
83 |     float x = -1;
84 |     LOCK_acquire(SYMPTOMS1_sem);
85 |     x = GIROSCOPE_x;
86 |     LOCK_release(SYMPTOMS1_sem);
87 |     return x;
88 | }
89 |
90 | /**
91 |  * @brief Safely obtains the Y value of the giroscope.
92 |  *
93 |  * @return float - the Y value.
94 |  */
95 | float GIROSCOPE_get_Y(void) {
96 |     float y = -1;
97 |     LOCK_acquire(SYMPTOMS1_sem);
98 |     y = GIROSCOPE_y;
99 |     LOCK_release(SYMPTOMS1_sem);
100 |     return y;
101 | }
102 |
103 | /**
104 |  * @brief Safely obtains the Z value of the giroscope.
105 |  *
106 |  * @return float - the Z value.
107 |  */
108 | float GIROSCOPE_get_Z(void) {
109 |     float z = -1;
110 |     LOCK_acquire(SYMPTOMS1_sem);
111 |     z = GIROSCOPE_z;
112 |     LOCK_release(SYMPTOMS1_sem);
113 |     return z;
114 | }
115 |
116 | /**
117 |  * @brief Safely sets the steering wheel position, in angles.
118 |  *
```

```
119 | * @param position the new wheel position.
120 | */
121 | void WHEEL_set(int position) {
122 |     LOCK_acquire(SYMPTOMS1_sem);
123 |     WHEEL_old_position = WHEEL_position;
124 |     WHEEL_position = position;
125 |     LOCK_release(SYMPTOMS1_sem);
126 | }
127 |
128 | /**
129 | * @brief Safely obtains the steering wheel position, in angles.
130 | *
131 | * @return int - the steering wheel position.
132 | */
133 | int WHEEL_get(void) {
134 |     int position = -1;
135 |     LOCK_acquire(SYMPTOMS1_sem);
136 |     position = WHEEL_position;
137 |     LOCK_release(SYMPTOMS1_sem);
138 |     return position;
139 | }
140 |
141 | /**
142 | * @brief Safely sets if the steering wheel is swerving or not.
143 | *
144 | * @param is_swerving whether if the steering wheel is swerving or not.
145 | */
146 | void WHEEL_set_is_swerving(bool is_swerving) {
147 |     LOCK_acquire(SYMPTOMS1_sem);
148 |     WHEEL_is_swerving = is_swerving;
149 |     LOCK_release(SYMPTOMS1_sem);
150 | }
151 |
152 | /**
153 | * @brief Safely checks if the steering wheel is swerving or not.
154 | *
155 | * @return true - if swerving.
156 | * @return false - otherwise or if any error occurs.
157 | */
158 | bool WHEEL_get_is_swerving(void) {
159 |     bool is_swerving = false;
160 |     LOCK_acquire(SYMPTOMS1_sem);
161 |     is_swerving = WHEEL_is_swerving;
162 |     LOCK_release(SYMPTOMS1_sem);
163 |     return is_swerving;
164 | }
165 |
166 | /**
167 | * @brief With the given speed, safely updates whether the vehicle is
168 | *        swerving or not, based on proposed conditions.
169 | *
170 | * @param speed the current vehicle speed.
171 | * @return true - if the vehicle is swerving.
172 | * @return false - otherwise.
173 | */
174 | bool WHEEL_update_swerving(int speed) {
175 |     LOCK_acquire(SYMPTOMS1_sem);
176 |     WHEEL_is_swerving = ((speed > 70) && (abs(WHEEL_position -
```

```

177     ↪ WHEEL_old_position) ≥ 150));
178     LOCK_release(SYMPTOMS1_sem);
179     return WHEEL_is_swerving;
180 }
181 /**
182  * @brief Safely sets whether if the steering wheel is grabbed or not.
183  *
184  * @param is_grabbed true if grabbed/false otherwise.
185  */
186 void WHEEL_grab(bool is_grabbed) {
187     LOCK_acquire(SYMPTOMS2_sem);
188     WHEEL_status_grab = is_grabbed;
189     LOCK_release(SYMPTOMS2_sem);
190 }
191
192 /**
193  * @brief Safely obtains whether the steering wheel is grabbed or not.
194  *
195  * @return true - if the wheel is grabbed.
196  * @return false - if the wheel is not grabbed.
197  */
198 bool WHEEL_is_grabbed(void) {
199     bool is_grabbed = false;
200     LOCK_acquire(SYMPTOMS2_sem);
201     is_grabbed = WHEEL_status_grab;
202     LOCK_release(SYMPTOMS2_sem);
203     return is_grabbed;
204 }
205
206 /**
207  * @brief Destroys the symptoms protected object, freeing all the
208  *        used memory. After this method is called, the SYMPTOMS
209  *        object is not usable anymore until #SYMPTOMS_init is called
210  *        again.
211  */
212 void SYMPTOMS_delete(void) {
213     LOCK_destroy(SYMPTOMS1_sem);
214     LOCK_destroy(SYMPTOMS2_sem);
215
216     SYMPTOMS1_sem = NULL;
217     SYMPTOMS2_sem = NULL;
218
219     GIROSCOPE_x = .0F;
220     GIROSCOPE_y = .0F;
221     GIROSCOPE_z = .0F;
222
223     WHEEL_position = 0;
224     WHEEL_status_grab = false;
225 }

```

Listing 32: Cuerpo del objeto protegido symptoms.

```

1  /*
2  * Copyright © 2021 - present | node1.c by Javinator9889
3  *
4  * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
5  * it under the terms of the GNU General Public License as published by

```

```
6  * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
7  * (at your option) any later version.
8  *
9  * This program is distributed in the hope that it will be useful,
10 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
11 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
12 * GNU General Public License for more details.
13 *
14 * You should have received a copy of the GNU General Public License
15 * along with this program. If not, see https://www.gnu.org/licenses/.
16 *
17 * Created by Javinator9889 on 22/04/21 - node1.c.
18 */
19 #include "node1.h"
20 #include <math.h>
21 #include <stdbool.h>
22 #include <FreeRTOS.h>
23 #include <FreeRTOSConfig.h>
24 #include <lock.h>
25 #include <event_groups.h>
26
27 // Private variable storing the SPEED lock
28 static Lock_t SPEED_sem = NULL;
29
30 // Private variable storing the DISTANCE lock
31 static Lock_t DISTANCE_sem = NULL;
32
33 // Private variable storing the SPEED flag
34 static EventGroupHandle_t SPEED_event = NULL;
35
36 // Private variable storing the DISTANCE flag
37 static EventGroupHandle_t DISTANCE_event = NULL;
38
39 // Private variable storing the speed itself.
40 static volatile int speed = 0;
41
42 // Private variable storing the distance itself.
43 static volatile float distance = .0F;
44
45
46 /**
47  * @brief initializes the NODE1 protected object. This method must
48  *         be called during the early beggining in order to be able
49  *         to use the object's methods.
50  *
51  *         Notice that if there is no more memory available this
52  *         call will block forever until board reboot (for safety
53  *         reasons).
54  */
55 void NODE1_init(void) {
56     SPEED_sem = LOCK_create(NULL);
57     DISTANCE_sem = LOCK_create(NULL);
58     SPEED_event = xEventGroupCreate();
59     DISTANCE_event = xEventGroupCreate();
60 }
61
62 /**
63  * @brief Safely updates the stored speed with the new one.
```

```
64 | *
65 | * @param new_speed the new speed to set.
66 | */
67 | void SPEED_set(int new_speed) {
68 |     LOCK_acquire(SPEED_sem);
69 |     speed = new_speed;
70 |     LOCK_release(SPEED_sem);
71 | }
72 |
73 | /**
74 | * @brief Safely gets the stored speed.
75 | *
76 | * @return int - the speed itself. -1 if any error occurs.
77 | */
78 | int SPEED_get(void) {
79 |     int current = -1;
80 |     LOCK_acquire(SPEED_sem);
81 |     current = speed;
82 |     LOCK_release(SPEED_sem);
83 |     return current;
84 | }
85 |
86 | /**
87 | * @brief Updates the flag #SPEED_event indicating that a new
88 | *       value for the speed has been received from CANBus
89 | *       (see {can.c#CAN_Handle_IRQ}).
90 | *
91 | *       Notice that this method is intended to be called
92 | *       from an interruption routine.
93 | *
94 | */
95 | void SPEED_set_recv(void) {
96 |     configASSERT(SPEED_event != NULL);
97 |     xEventGroupSetBitsFromISR(SPEED_event, BIT_SET, NULL);
98 | }
99 |
100 | /**
101 | * @brief Waits until the SPEED flag has been set. Then, resets
102 | *       the event itself so it can wait for it again.
103 | *
104 | */
105 | void SPEED_wait_recv(void) {
106 |     configASSERT(SPEED_event != NULL);
107 |     xEventGroupWaitBits(SPEED_event, BIT_SET, pdTRUE, pdFALSE, portMAX_DELAY);
108 | }
109 |
110 | /**
111 | * @brief Safely updates the stored distance with the new one.
112 | *
113 | * @param new_distance the new distance to set.
114 | */
115 | void DISTANCE_set(float new_distance) {
116 |     LOCK_acquire(DISTANCE_sem);
117 |     distance = new_distance;
118 |     LOCK_release(DISTANCE_sem);
119 | }
120 |
121 | /**
```

```

122 | * @brief Safely gets the stored distance.
123 | *
124 | * @return float - the stored distance. -1.0F if any error occurs.
125 | */
126 | float DISTANCE_get(void) {
127 |     float dist = -1.0F;
128 |     LOCK_acquire(DISTANCE_sem);
129 |     dist = distance;
130 |     LOCK_release(DISTANCE_sem);
131 |     return dist;
132 | }
133 |
134 | /**
135 | * @brief Computes and returns if the stored distance is OK
136 | *        based on the speed and the following equation:
137 | *
138 | *
139 | *
140 | *
141 | *
142 | * @return true - if the current distance is geq than 50% of recommended.
143 | * @return false - if the current distance is lower than 50% of recommended.
144 | */
145 | bool DISTANCE_get_security(void) {
146 |     float current_distance = DISTANCE_get();
147 |     int current_speed = SPEED_get();
148 |     return (current_distance < (.5F * ((float) pow((current_speed / 10), 2))));
149 | }
150 |
151 | /**
152 | * @brief Updates the flag #DISTANCE_event indicating that a new
153 | *        value for the distance has been received from CANBus
154 | *        (see {can.c#CAN_Handle_IRQ}).
155 | *
156 | *        Notice that this method is intended to be called
157 | *        from an interruption routine.
158 | */
159 | void DISTANCE_set_recv(void) {
160 |     configASSERT(DISTANCE_event != NULL);
161 |     xEventGroupSetBitsFromISR(DISTANCE_event, BIT_SET, NULL);
162 | }
163 |
164 | /**
165 | * @brief Waits until the DISTANCE flag has been set. Then, resets
166 | *        the event itself so it can wait for it again.
167 | */
168 | void DISTANCE_wait_recv(void) {
169 |     configASSERT(DISTANCE_event != NULL);
170 |     xEventGroupWaitBits(DISTANCE_event, BIT_SET, pdTRUE, pdFALSE, portMAX_DELAY)
171 |     ↪ ;

```

Listing 33: Cuerpo del objeto protegido node1.