



Conducció assistida a la motocicleta

Marc Rubio Sanleandro

Enginyeria Tècnica d'Informàtica de Sistemes
Sistemes embastats

Jordi Bécares Ferrés

Pere Tuset Peiró

Xavi Vilajosana Guillen

13 de juny de 2016



Aquesta obra està subjecta a una llicència de [Reconeixement 3.0 Espanya de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/es/)

FITXA DEL TREBALL FINAL

Títol del treball:	<i>Conducció assistida a la motocicleta</i>
Nom de l'autor:	<i>Marc Rubio Sanleandro</i>
Nom del consultor/a:	<i>Jordi Bécares Ferrés</i>
Nom del PRA:	<i>Pere Tuset Peiró Xavi Vilajosana Guillen</i>
Data de lliurament (mm/aaaa):	<i>06/2016</i>
Titulació o programa:	<i>Enginyeria Tècnica d'Informàtica de Sistemes</i>
Àrea del Treball Final:	<i>Sistemes encastats</i>
Idioma del treball:	<i>Català</i>
Paraules clau	<i>Embedded systems, motorcycle, real time</i>
Resum del Treball	
<p>El present document és la memòria del treball de fi de carrera en l'àrea de sistemes encastats.</p> <p>El context d'aplicació és en l'àmbit de l'automoció, en concret motocicletes. Per una banda dissenyarem i implementarem un sistema de seguretat activa, amb l'objectiu de detectar els vehicles situats en els angles morts, i per l'altra un petit sistema d'ajudes a la conducció, que inclou l'estudi de la viabilitat de construir un indicador del consum instantani, i la implementació d'un indicador visual de la necessitat de canviar de marxa segons diferents criteris.</p> <p>La metodologia seguida és força exploratòria i de prototipatge, però veurem com amb un bon pla de treball i aplicant processos d'enginyeria del software arribem a bon port. En aquest sentit, veurem un petit estudi de mercat, amb solucions existents i tecnologies disponibles, així com un recull i justificació del disseny funcional i detalls tècnics rellevants de la implementació del sistema.</p> <p>El desenvolupament és realitzat sobre el sistema microcontrolador LPC1769, utilitzant el sistema operatiu en temps real FreeRTOS per a la programació de tasques i pas de missatges entre mòduls de l'aplicació.</p> <p>Com a conclusió veurem que és un sistema viable.</p>	
Abstract	
The current document is the report for the end of degree project in the embedded systems area.	

The application context is in the automobile industry, centered in motorcycles. Firstly, we will design and implement an active security system, with the goal of detecting vehicles situated in the blind spots. Then we will get into driving assistance features, which include the study about the viability of constructing a fuel consumption indicator, as well as a visual cue to aid in recognizing the optimum shifting points based on a set of criteria.

The used methodology is quite exploratory and prototyped. However we will see that good planning and software engineering processes will bring the project to success. In this sense, we will see a small market research, with existing and current solutions to these problems, and also the functional design and its justification along other technical details about the system implementation.

The development is done over the LPC1769 microcontroller board, and using the FreeRTOS real time operating system, leveraging its included task scheduler and messaging systems to build the application upon.

As a conclusion we will be assured that it is a viable project.

Índex

1	Introducció.....	4
1.1	Context i justificació del treball	4
1.2	Descripció del treball	5
1.3	Objectius del TFC.....	6
1.4	Enfocament i mètode seguit	6
1.5	Planificació del treball	8
1.6	Recursos emprats	10
1.6.1	Recursos de software	10
1.6.2	Recursos de hardware.....	12
1.7	Productes obtinguts.....	13
1.8	Breu descripció dels altres capítols de la memòria.....	14
2	Antecedents	15
2.1	Estat de l'art.....	15
2.1.1	Single-board microcontrollers	15
2.1.2	Sensors de distància	17
2.1.3	Pantalles LCD.....	19
2.2	Estudi de mercat.....	21
2.2.1	Sensors de proximitat	21
2.2.2	Ajudes a la conducció.....	22
3	Descripció funcional	23
3.1	Sistema de proximitat	23
3.2	Sistema d'ajudes a la conducció	28
3.3	Disseny de l'aplicació en la placa LPC1769	30
4	Descripció detallada.....	34
4.1	Circuit d'alimentació.....	34
4.2	Inicialització del sistema	35
4.3	Mòdul LCD.....	36
4.4	Sistema de proximitat	38
4.5	Sistema d'ajudes a la conducció	39
5	Viabilitat tècnica	41
6	Valoració econòmica	42
7	Conclusions.....	44
7.1	Coses apreses.....	44
7.2	Autoavaluació	44
7.3	Línies de treball futur	45
8	Glossari.....	46

9 Bibliografia48

Llista de figures

Figura 1: Elements principals del sistema	5
Figura 2: Diagrama de Gantt amb la planificació inicial.....	8
Figura 3: Diagrama de Gantt amb la planificació final	9
Figura 4: Logotip LPCXpresso	11
Figura 5: Logotip de FreeRTOS	11
Figura 6: Aspecte del LCD	12
Figura 7: Conjunt del sonar	12
Figura 8: Mòdul Wifi RN171-XV	12
Figura 9: Caixes amb sonars.....	13
Figura 10: Caixa amb el LCD	13
Figura 11: Recinte del microcontrolador i circuits integrats	14
Figura 12: LPC4330-Xplorer Board.....	16
Figura 13: Arduino Zero	16
Figura 14: Raspberry Pi 3 Model B	17
Figura 15: LPC1769 LPCXpresso	17
Figura 16: Sensor infrarojos	18
Figura 17: LIDAR.....	18
Figura 18: LCD d'alta resolució	19
Figura 19: Pantalla de caràcters.....	20
Figura 20: Pantalla de segments.....	20
Figura 21: Sistema BLIS en funcionament	22
Figura 22: Indicador de marxa.....	22
Figura 23: Visió perifèrica en l'ésser humà.....	25
Figura 24: Funcionament d'un sonar	26
Figura 25: Nivell de risc segons la proximitat	26
Figura 26: Nivell de risc segons el temps d'impacte.....	27
Figura 27: Modes de l'indicador de canvi de marxa	29
Figura 28: Diagrama funcional del sistema	29
Figura 29: Diagrama de blocs de l'aplicació.....	33
Figura 30: Esquemàtic del circuit d'alimentació.....	35
Figura 31: Diagrama d'execució de l'inici	36
Figura 32: Esquemàtic LCD	37
Figura 33: Enviament de comandes al LCD.....	37
Figura 34: Enviament de missatges del sistema de proximitat.....	38
Figura 35: Esquemàtic de la connexió amb la ECU	40
Figura 36: Cronograma de la inicialització ràpida de KP2000	40
Figura 37: Taula de costos dels materials.....	43
Figura 38: Taula de costos de desenvolupament.....	43

1 Introducció

1.1 Context i justificació del treball

En les darreres dècades l'avanç de la tecnologia ha aportat a la computació sistemes més potents, més econòmics, més eficients i, sobretot, més petits. Aquestes millores han provocat una explosió en el món dels sistemes encastats, on degut a tots aquests factors cada cop hi ha més possibilitats de construir solucions a problemes concrets. Un dels àmbits amb força notorietat és del dels automòbils.

En concret, els cotxes compten cada cop més amb ajudes electròniques a la conducció. Disposen d'elements de seguretat activa com són els sistemes anti-bloqueig de rodes (ABS¹), control de tracció (TCS²), control d'estabilitat (ESP³), prevenció de col·lisions, control automàtic de llums, sensors de vehicles en els angles morts, i un llarg etcètera.

En les motocicletes però, sembla que l'aplicació d'aquestes tecnologies no és prioritari. Hi ha models que ni tan sols ofereixen⁴ ABS, que és possiblement l'element de seguretat més necessari en una motocicleta pel fet de que tan sols té dues rodes. Només en certes motocicletes de gama alta comencem a veure altres sistemes, com el control de tracció.

També, els retrovisors són un element de seguretat amb carències considerables d'aquest tipus de vehicle: fent una conducció normal cal suplir aquesta disfuncionalitat de manera manual girant el cap per a observar si hi ha vehicles al carril contigu, generant risc de col·lisió amb els vehicles precedents si just en aquell moment minoren la velocitat.

Així doncs, prenem la oportunitat presentada per aquest TFC per aprofundir en l'aplicació de sistemes encastats en les motocicletes, explorant la seguretat activa i utilitats d'ajuda a la conducció.

¹ *Anti-lock Braking System*. Sistema d'ajuda en la frenada que evita el lliscament descontrolat del vehicle degut al bloqueig de les rodes.

² *Traction Control System*. Sistema d'ajuda en pèrdua de tracció per a les rodes motrius, quan la potència aplicada és inadequada per a la superfície.

³ *Electronic Stability Control*. Sistema d'ajuda en pèrdua de tracció, que aplica els frens en situacions de subviratge o sobreviratge.

⁴ Una normativa europea que ha entrat en vigor aquest any 2016 hi ha posat solució. Les motocicletes de cilindrada superior a 125cc han de dur obligatòriament ABS.

1.2 Descripció del treball

En l'àmbit de la seguretat activa, explorarem i aplicarem un sistema de detecció de vehicles en els angles morts generats pels retrovisors. És una funcionalitat ja existent en altres tipus de vehicles i d'eficàcia provada. Com a sistemes d'ajuda a la conducció, veurem com podem mostrar al conductor un índex de consum de combustible, així com un sistema indicador del moment òptim en el qual s'ha de canviar de marxa. I com a unitat computacional utilitzarem un microcontrolador.

Per a la detecció dels vehicles, emprarem dos sensors de distància, un per a cada lateral de la motocicleta, que funcionen amb tecnologia d'ultrasons. La funcionalitat d'aquests sensors es ben simple: emeten un feix, i mesuren el temps que triguen a tornar. En base a aquesta informació, podem calcular la distància a la que es troben els objectes, així com la velocitat a la que s'apropen o allunyen.

Així doncs dotarem a la motocicleta d'un sistema de *feedback* que indiqui al conductor per a quin costat o costats té vehicles, i si es troba en una situació de risc, mitjançant una petita pantalla LCD retroil·luminada.

Per al càlcul de l'índex de consum de combustible i el sistema indicador de canvi de marxa, connectarem el microcontrolador amb la *ECU*, d'on extraurem dades com les revolucions per minut del motor i el grau d'obertura del puny del gas.

A continuació en la figura 1, podem observar els components del sistema, com es relacionen, i la direccionalitat d'aquestes relacions.

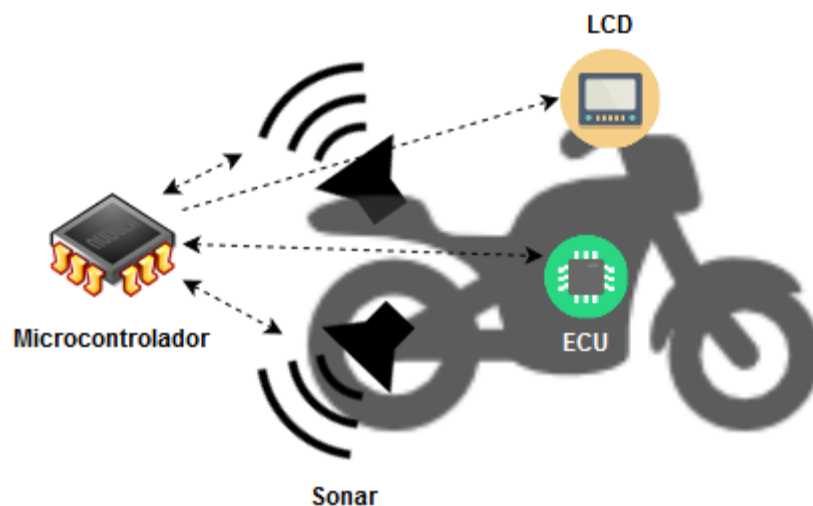


Figura 1: Elements principals del sistema

1.3 Objectius del TFC

Els objectius d'aquest TFC van doncs enfocats a recollir dades dels sensors, processar-les, i mostrar un resultat final a l'usuari.

També estan definits de manera que en la seva majoria són incrementals. És a dir, que la consecució és idealment ordenada, i la feina realitzada serveix com va base per als següents.

Objectius primaris

1. Prendre mesures des del sonar.
2. Analitzar l'entrada dels sonars per a determinar riscos de col·lisió.
3. Preparar un sistema de feedback, mitjançant retroil·luminació RGB del LCD.

Objectius secundaris

1. Establir un enllaç de comunicació amb la ECU.
2. Calcular un índex de consum de gasolina instantani.
3. Mostrar feedback de la ECU pel LCD.

Objectius extraordinaris

1. Calcular i indicar el punt òptim per a canviar de marxa

En definitiva són uns objectius pensats per a assolir-los amb un cicle incremental i iteratiu sobre les parts del sistema. Incremental, perquè primer aconseguim la comunicació des del microcontrolador cap a un dispositiu del sistema, després en processem les dades i finalment mostrem un resultat. Iteratiu, perquè ho repetim per al següent component.

1.4 Enfocament i mètode seguit

Els primers passos que s'han donat han anat de cara a encaminar una gestió del treball final de carrera adequada. De fet la pròpia programació del TFC planteja unes fites i tasques que ja et fan apuntar en aquesta direcció, com són la proposta de treball, tasques de presa de contacte amb el microcontrolador i el pla de treball; que et fan definir de bon principi l'abast del projecte, objectius, tasques a realitzar i viabilitat..

L'estudi de viabilitat va ser clau en la identificació de l'abast del projecte, i establir quines fites volíem i ens donava temps a perseguir dins de les restriccions de temps i recursos de que disposem. Així doncs vam decidir desenvolupar un producte nou.

De cara al hardware, hem optat per a integrar solucions ja existents tant per facilitat, temps, i perquè realment queda fora de del que hem après dins del pla d'estudis de la ETIS. En aquest

aspecte però ha calgut un gran esforç en formació per a conèixer quins tipus de dispositius existeixen al mercat i quins s'adeqüen als requisits i objectius del treball.

D'altra banda, per al desenvolupament del software, tot i estar familiaritzats amb programari d'altres tipus, el programari encastat tampoc ens resulta familiar. En aquest sentit hauria estat convenient reutilitzar llibreries ja desenvolupades, com pot ser LPCOpen⁵, que és codi funcional i provat, de cara a dedicar els recursos disponibles a altres tasques. El camí triat però ha estat desenvolupar els divers sobre CMSIS⁶, amb l'objectiu d'adquirir un coneixement a més baix nivell de com funciona el microcontrolador, i així entendre millor les interaccions del sistema i explorar més possibilitats. El paradigma de programació triat és la programació estructurada, amb certa modularització entre els diferents components del sistema. La motivació principal essent que és amb la que treballem més còmodament en el llenguatge C, que és el llenguatge de programació que ens ofereix i posa a l'abast els recursos necessaris.

Com a sistemes de test i per la seva facilitat d'ús hem fet proves funcionals de manera manual, i un cop detectats problemes s'ha utilitzat un depurador per a trobar-ne la causa, o fet una revisió directa del codi per a casos més evidents. Un sistema de tests unitaris hauria estat una millor aproximació si s'hagués disposat del coneixement i experiència necessaris, pel fet de que la seva execució i validació pot ser automàtica. A més tot sovint permeten capturar errors en etapes prèvies dins de cada cicle.

Ens hem trobat doncs davant d'un projecte on hem pogut definir uns objectius clars, però en desconeixem la forma exacta de desenvolupar i assolir-los. És per això doncs que el desenvolupament s'ha dut a terme amb un cicle de vida iteratiu i incremental. D'aquesta manera, hem pogut enfocar cada cicle com una etapa exploratòria, en que hem pogut esbrinar el funcionament del microcontrolador, particularitats del llenguatge de programació, detectar requisits erronis, i corregir errors de disseny i implementació detectats ens les proves realitzades. Per al hardware hem utilitzat una *protoboard* per a aconseguir aquesta flexibilitat també, i l'hem desenvolupat de manera anàloga.

En finalitzar cada cicle, hem adaptat requisits, disseny i implementació tant de hardware com de software de cara a refinar el producte fins a assolir l'objectiu.

Aquesta metodologia doncs ha facilitat un desenvolupament que ha pogut incorporar assaig i error, mentre que a la vegada ha permet contenir l'abast dels canvis en cada cicle de manera que sempre hem tingut un producte funcional.

⁵ És un conjunt de llibreries amb drivers i middleware específics per a un o família de microcontroladors.

⁶ Cortex Microcontroller Software Interface Standard. Una especificació creada originalment per ARM i els seus productes Cortex-M, que proveeix una interfície comú per a accedir a registres dels perifèrics. S'ha anat expandint i NXP inclou funcionalitats específiques per als seus microcontroladors.

1.5 Planificació del treball

La planificació inicial, que podem veure en el diagrama de Gantt de la figura 2, està dividida en tres grans grups: Fase 1, Fase 2 i Fase 3. Cada una d'elles es compon de diferents tasques que marquen un seguit de fites a assolir i que porten a una consecució ordenada dels objectius.

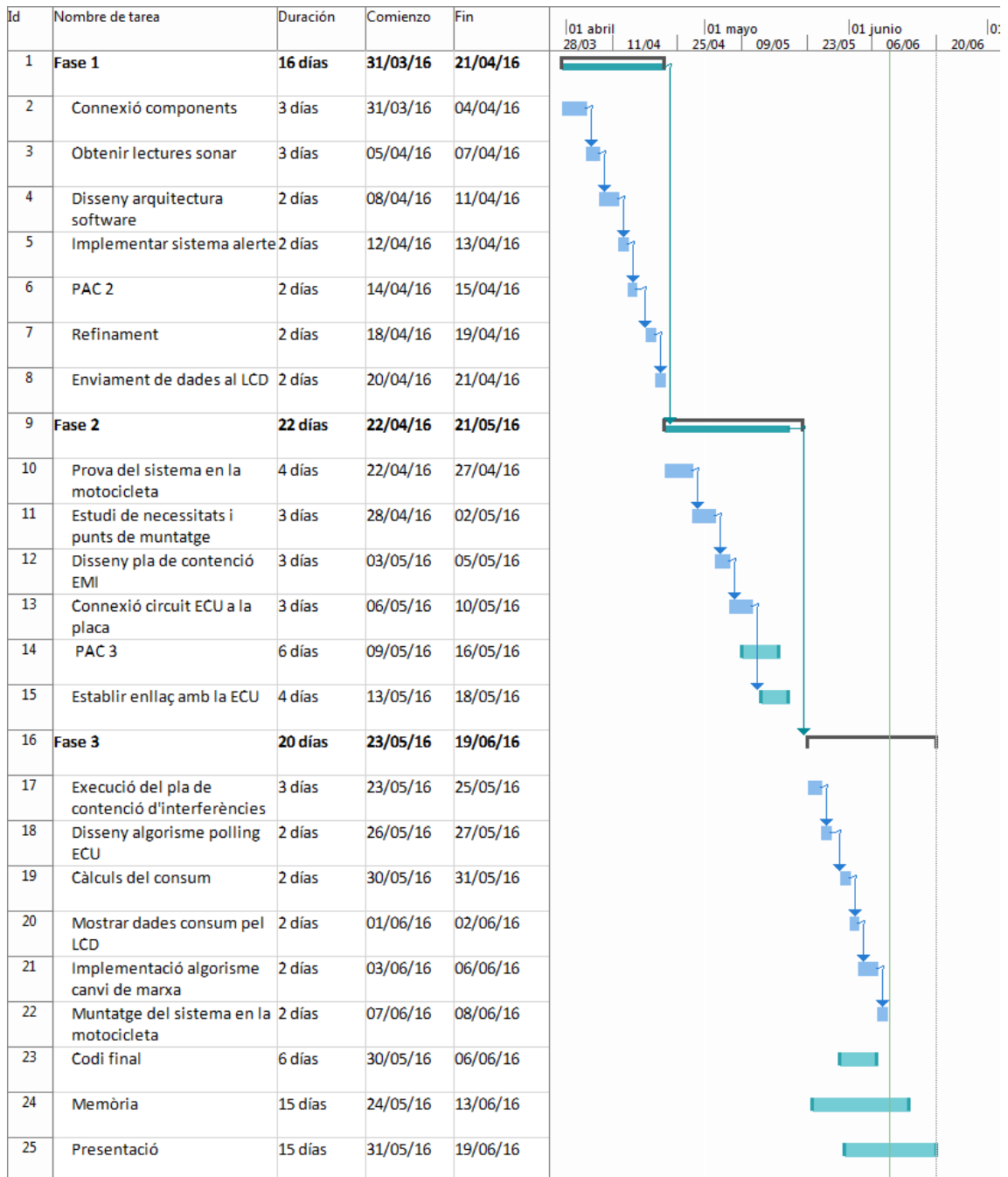


Figura 2: Diagrama de Gantt amb la planificació inicial

Cal remarcar que tot i poder observar una forma en cascada de tasca a tasca, perquè hem emprat una metodologia iterativa i incremental, en la realització de la tasca N també es computa el temps en fer modificacions a les tasques [1, N-1] que serveixin per al seu correcte assoliment.

En la figura 3 podem observar la planificació final que ha canviat lleugerament degut a imprevistos que enumerarem a continuació.

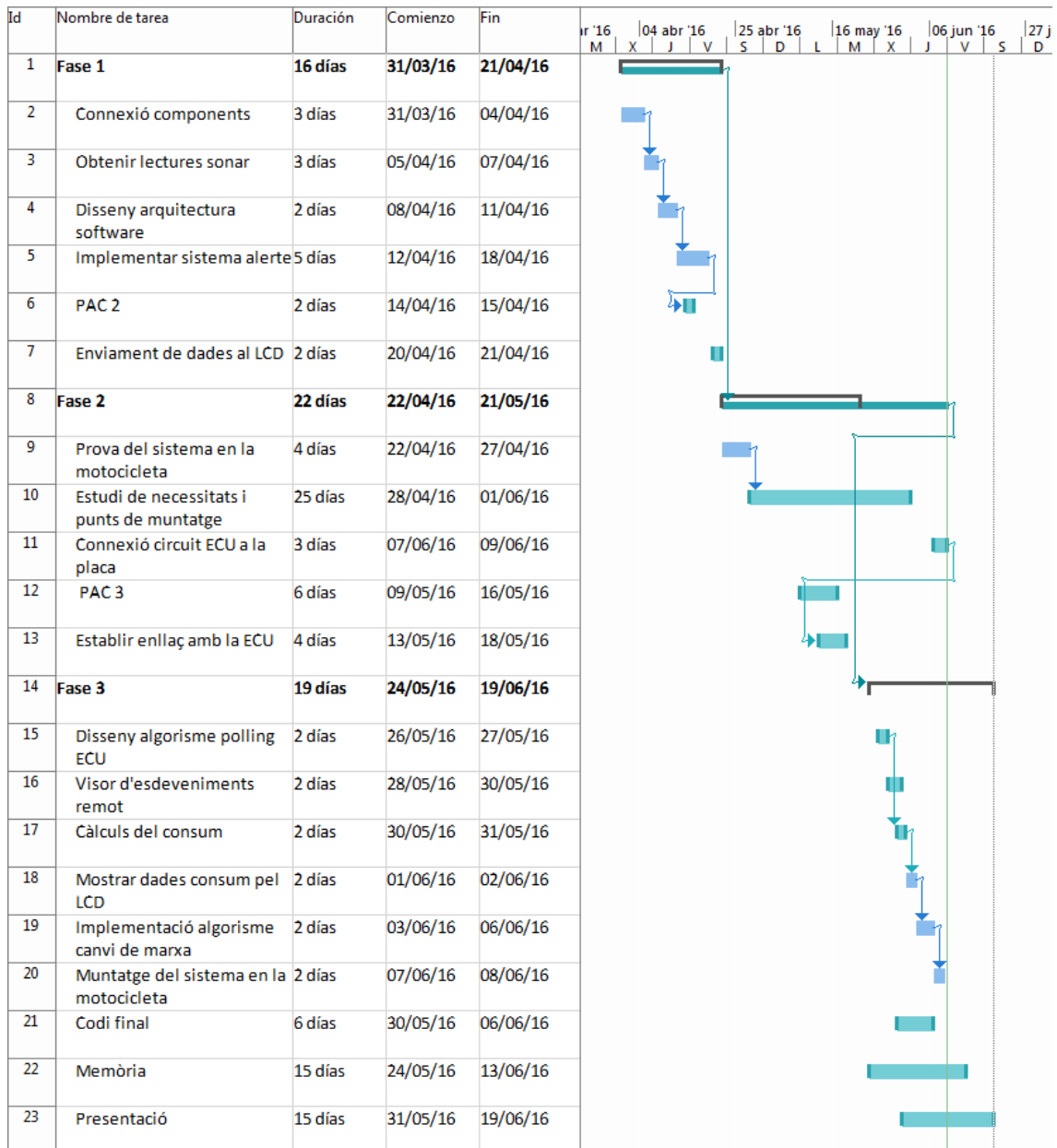


Figura 3: Diagrama de Gantt amb la planificació final

Les tasques que han sofert alteració són les següents:

- **Implementar sistema d'alertes:** la durada es va veure incrementada degut a que en comptes de fer una implementació a mode de prova de concepte com era marcat al pla de treball inicial, i iterar sobre el sistema d'alertes en la següent tasca, es va fer tot de cop.
- **Refinament (del sistema d'alertes):** Va ser absorbida per la tasca anterior.
- **Estudi de necessitats i punts de muntatge:** Inicialment previst per a una etapa de tan sols 3 dies, aviat va provar ser una tasca exigent. Inicialment es va identificar aquesta tasca com un dels punts de risc del projecte, però no es va estimar l'impacte correctament. El desenvolupament d'aquesta tasca doncs es va haver de dur en paral·lel de les altres.
- **Disseny del pla de contenció d'interferències electromagnètiques:** un altre dels riscos identificats en el pla de treball, va ser la possibilitat que degut als alts voltatges i corrents que passen per alguns punts de la motocicleta, afectés al bon funcionament del sistema. Per tant vam assignar una tasca per a resoldre-ho. Al final però aquest problema no s'ha fet present, ja sigui per una sobreestimació del problema o gràcies a mesures preventives que s'han pres.
- **Execució del pla de contingències d'interferències electromagnètiques:** Anàlogament al punt anterior, no ha fet falta.
- **Visor d'esdeveniments remot:** amb el temps guanyat degut a la caiguda de les tasques relatives a les interferències electromagnètiques, es va afegir aquesta nova tasca, que facilita l'obtenció de dades d'interès, o esdeveniments, des del microcontrolador cap a un dispositiu que s'hi connecti via Wifi.

1.6 Recursos emprats

Els recursos emprats per a dur a terme el projecte són de naturalesa diversa. A grans trets, hem utilitzat eines de software que ens han assistit a desenvolupar el programari que hem carregat al microcontrolador, i d'altra banda hardware de diferent naturalesa amb el que hem pogut construir el sistema.

1.6.1 Recursos de software

Microsoft Windows 7

És el sistema operatiu emprat en la màquina d'escriptori on s'ha fet el gruix del desenvolupament de programari per al microcontrolador.

OS X El capitán

Per a fer test i depuració del sistema en la motocicleta, sobretot de les comunicacions amb la ECU, ha estat essencial l'ús d'un equip portàtil Macintosh carregat amb aquest sistema operatiu.

LPCExpresso v8.0

És un IDE construït en Java sobre Eclipse i multi-plataforma. Està desenvolupat per NXP i dóna suport al desenvolupament de programari per als seus productes LPC. A més incorpora eines de depuració .



Figura 4: Logotip LPCXpresso

PuTTY

És una eina de programari que permet establir connexions via sèrie, Telnet o SSH. S'ha emprat tant per a configurar el mòdul Wifi, com per al sistema de proves de desenvolupament dels divers UART⁷.

ConnectBot

Client SSH i Telnet de codi obert per a dispositius mòbils basats en Android. Un cop connectats al mòdul Wifi, podem establir-hi una connexió

FreeRTOS

És un sistema operatiu en temps real escrit en el llenguatge de programació C. És força lleuger, i suporta fins a 35 arquitectures diferents. Algunes de les funcionalitats que incorpora són un programador de tasques i tasques, co-rutines, cues, semàfors, mecanismes d'exclusió mútua, temporitzadors per software, traces d'execució, detecció de desbordament de pila, etc. També és un projecte de codi obert.



Figura 5: Logotip de FreeRTOS

CMSIS

Acrònim de l'anglès Cortex Microcontroller Software Interface Standard, és una especificació d'una interfície originalment definida per ARM i els seus productes de la sèrie Cortex-M. Proveeix doncs una capa d'abstracció per a accedir a registres dels perifèrics, una nomenclatura per als perifèrics del nucli, i un canal de depuració que prova d'unificar-se per als diferents tipus de dispositius. Sobre aquesta, NXP hi ha afegit extensions per als seus dispositius. Fem servir la versió produïda per aquests últims, en la versió número 2.0.

⁷ *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*. És una funcionalitat sovint present en forma de circuit integrat que permet la comunicació en sèrie entre perifèrics.

1.6.2 Recursos de hardware

Display LCD en sèrie i retroil·luminació RGB

Es tracta d'una pantalla LCD, que permet rebre comandes via sèrie. A més disposa de una retroil·luminació RGB, de la qual podem controlar els leds vermell, verd i blau de manera independent podent crear un ventall de colors. El fabricant és Newhaven i el model NHD-0216K3Z-FS(RGB)-FBW-V3.



Figura 6: Aspecte del LCD

Sonar resistent a l'aigua JSN-SR04T

És un dispositiu transductor d'ultrasons de fabricació xinesa, per la companyia JSN. Té un rang de funcionament des dels 25cm fins als 450cm amb un angle de 30°, i la particularitat de que el circuit integrat que el fa funcionar es troba separat de l'emissor, que és impermeable. A més, el cable que els uneix és apantallat.



Figura 7: Conjunt del sonar

Mòdul Wifi RN171.XV



Figura 8: Mòdul Wifi RN171-XV

És un circuit integrat que facilita comunicacions via Wifi preparat per al prototipatge, ja que disposa de tires de pins on fer connexions ràpides. També permet la comunicació amb altres dispositius via sèrie.

Adaptador pont de USB a UART CP2102

És un petit circuit integrat amb un connector USB per una banda, i unes sortides amb pins per l'altre, que exposa un port sèrie via USB en un ordinador, i permet rebre i enviar dades cap a un dispositiu que implementi funcionalitat UART per l'altre.

Components passius

En gran mesura per a fer el circuit d'alimentació, s'han emprat resistències, condensadors ceràmics, díodes, porta-fusibles i fusibles, commutadors unipolars. També en las fases de prototipatge hem utilitzat *leds*.

Circuits integrats

Reguladors de voltatge amb sortides a 3.3V i 5V, un controlador de corrent, i un condicionador de nivell per a adaptar els nivells TTL⁸ als aproximadament 12V que utilitza la ECU.

1.7 Productes obtinguts

En la finalització del treball els productes obtinguts són 4, que una vegada interconnectats formen part d'un sol sistema. S'ha triat aquesta modularització per dos motius.

El primer, com a conclusió de les necessitats del muntatge: el LCD, Microcontrolador, i sensors, necessiten ser en punts de muntatge diferents. El LCD el necessitem davant de la motocicleta, on el conductor pugui rebre el feedback visual. El microcontrolador, ha d'estar protegit dels elements. I els sensors, necessiten un accés al medi lliure d'obstacles.

El segon, la facilitat per al muntatge i desmuntatge, així com per a tasques de manteniment o substitució de les parts.

Transductors d'ultrasons

Els dos transductors d'ultrasons que podem veure en la figura 9, tot i ser resistents a l'aigua es troben dins una capsa de plàstic que els dona protecció davant de cops, i una capa extra davant les inclemències meteorològiques. A més



Figura 9: Caixes amb sonars

dóna facilitats per al muntatge facilitant la seva manipulació i orientació. Les dimensions són de 50x35x20mm.

Liquid Cristal Display

Es compon per una caixa de 100x50x25mm que podem observar en la figura 10, que conté el LCD i els seus circuits per a protegir-los dels elements. Té una finestra per a permetre la visualització del LCD, i un plàstic transparent entremig encolat per a segellar-ho de nou. Per la banda del darrere en surt un cable de 6 vies.



Figura 10: Caixa amb el LCD

⁸ Quan parlem de nivells *Transistor-Transistor Logic*, fem referència a voltatges d'entre 0V i 5V aproximadament.

Microcontrolador, circuits integrats i circuit d'alimentació

Per tal de protegir els components de les vibracions de la motocicleta, així com cops en la seva manipulació i ús normal, i també assegurar-nos de que les connexions elèctriques no pateixen curtcircuits en tocar amb altres parts, hem encabit totes aquestes parts en una capsa com la de la figura 11 de 154x42x73xmm. Consta d'un connector de 6 vies per a connectar-hi el LCD, un connector tipus jack DC per a connectar-hi l'alimentació, 2 orificis per a connectar els transductors d'ultrasons, i un cable amb un terminal de tipus *fast-on* per a connectar amb els connector de diagnòstic de la ECU.



Figura 11: Recinte del microcontrolador i circuits integrats

1.8 Breu descripció dels altres capítols de la memòria

En els següents capítols, tractarem quines tecnologies existeixen a dia d'avui que puguem aplicar, quines s'hi adeqüen, i també si hi ha solucions existents al mercat que solucionin el mateix problema i com ho fan. Després veurem una descripció detallada de la funcionalitat del sistema, per a endinsar-nos finalment en els aspectes tècnics que implementen aquesta funcionalitat. Per a finalitzar farem un anàlisi de la consecució dels objectius i una autoavaluació de la realització del projecte.

2 Antecedents

Les possibles solucions al problema presentat en aquest TFC són diverses. En aquest capítol, primerament analitzarem l'estat de l'art en relació al hardware utilitzat, presentant tant els dispositius emprats com possibles alternatives. Després farem un estudi de mercat on presentarem si hi ha sistemes iguals o similars ja existents i com són.

2.1 Estat de l'art

En la era que ens trobem ara mateix, on els *smartphones* i sistemes encastats han produït una cursa en la miniaturització de sistemes, i conceptes com la IoT⁹ són cada cop aplicables a més àmbits, trobem una gran varietat de productes i novetats que apareixen constantment.

Paral·lelament, iniciatives com les generades per Raspberry Pi i Arduino, que ara dominen el mercat en el seu segment, han produït *single-board microcontrollers*¹⁰ que han apropiat l'àrea dels sistemes encastats a un públic molt més general, contribuint encara més a l'explosió de l'indústria dels sistemes encastats.

2.1.1 Single-board microcontrollers

Series LPC4300

Microprocessador	204 MHz, 32 bit ARM Cortex-M4 amb <i>FPU</i> ¹¹ Co-processador 204 MHz, 32 bit ARM Cortex-M0
Memòria Flash	1 MB
Memòria SRAM	282 KB
Memòria EEPROM	16 KB
Xarxa	10/100 Ethernet
USB	x2 interfícies 2.0
Perifèrics de baix nivell	x2 CAN 2.0B, x4 UART, x2 I2C, x2 I2S, x3 SSP/SPI
Altres perifèrics	x2 ADC, x1 DAC, x16 PWM, x1 MC PWM, x164 GPIO, LCD Controller

⁹ *Internet of Things*. És un concepte que fa referència a la connexió d'objectes a Internet.

¹⁰ Plaques de circuits impresos que incorporen tots els circuits necessaris per a tenir un sistema de hardware funcional, llest per programar-hi.

¹¹ *Floating Point Unit: Unitat de càlcul amb nombres decimals*



Figura 12: LPC4330-Xplorer Board

Arduino Zero

Microprocessador	48MHz, 32 bit ARM Cortex-M0+
Memòria Flash	256 KB
Memòria SRAM	32 KB
Memòria EEPROM	No en té
Xarxa	No en té
USB	X2
Perifèrics de baix nivell	x4 UART, x1 SPI, x1 I2C, x1 I2S
Altres perifèrics	x20 GPIO, x18 PWM



Figura 13: Arduino Zero

Raspberry Pi 3 Model B

Microprocessador	1.2 GHz, 64 bit ARMv8 de quatre nuclis
Memòria Flash	Externa (microSD)
Memòria SRAM	1 GB
Memòria EEPROM	No en té
GPU	Broadcom Videocore IV
Xarxa	10/100 Ethernet, 802.11n
USB	x4 interfícies 2.0
Perifèrics de baix nivell	x1 UART, x1 I2C, x1 SPI
Altres perifèrics	x27 GPIO, x1 HDMI, x1 CSI

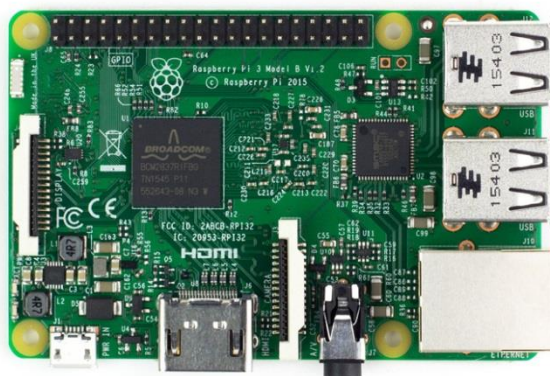


Figura 14: Raspberry Pi 3 Model B

LPC1769

Microprocessador	120 MHz, 32 bit ARM Cortex-M3
Memòria Flash	512 KB
Memòria SRAM	64 KB
Memòria EEPROM	No en té
Xarxa	Ethernet
USB	x1 interfície 2.0
Perifèrics de baix nivell	x1 CAN 2.0B, x4 UART, x3 SSP/SPI, x2 I2C, x1 I2S
Altres perifèrics	X6 PWM, x1 MC PWM, x70 GPIO, x1 DAC, x1 ADC



Figura 15: LPC1769 LPCXpresso

Es fa evident doncs que les possibilitats són moltes, i per tant és raonable dedicar l'esforç necessari a triar el microcontrolador adient per a cada aplicació. Tenim per exemple les plaques Raspberry Pi, que ofereixen uns microprocessadors molt potents i força memòria, que els fan adients per a tasques computacionalment exigents.

En el nostre cas, l'elecció de què utilitzar ens ve donada i és la placa LPC1769. Podem observar que és una placa força versàtil, ja que per una banda té un processador prou veloç, i per l'altra presenta força quantitat de perifèrics.

2.1.2 Sensors de distància

JST JSN-SR04T

Alimentació	5V DC, 40 mA
--------------------	--------------

Distància (mínim i màxim)	25 cm - 450cm
Angle de mesura	30°
Precisió	3mm
Connexió	2 canals d'1 bit
Mètode de mesura	Ultrasons a 40KHz

Sharp GP2Y0A02YK

Alimentació	5V DC, 33 mA
Distància (mínim i màxim)	20 cm – 150 cm
Angle de mesura	N/D
Precisió	10cm
Connexió	Analògica
Mètode de mesura	Infrarojos amb longitud d'ona 850 nm

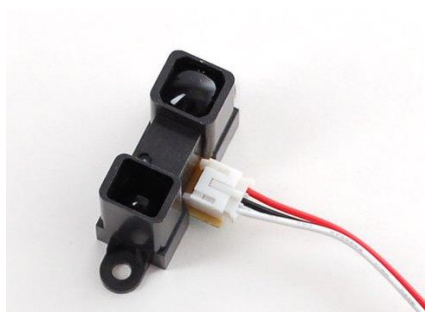


Figura 16: Sensor infrarojos

Hokuyo UTM-30LX-EW

Alimentació	12V DC, 700 mA
Distància (mínim i màxim)	10 cm – 30m
Angle de mesura	270°
Precisió	5cm
Connexió	Ethernet
Mètode de mesura	Làser amb longitud d'ona 905 nm



Figura 17: LIDAR

La tria d'utilitzar el mòdul model JSN-SR04T es va fer força evident en comparar les alternatives. Els sensors infrarojos mesuren distàncies massa curtes, i tot i que hi pot haver alguns models en particular capaços de mesurar distàncies més grans, no són gaire precisos i tampoc són adients per a exteriors ja que la llum solar, que és una bona font de llum infraroja, hi interfereix.

Els dispositius LIDAR en canvi, podem semblar més adequats perquè ofereixen unes capacitats força superiors. Les distàncies i àrees cobertes són molt més grans, disposen també d'una precisió molt bona, i el nombre de mesures que poden prendre per segon també és molt elevada. Com a contrapartida tenim que solen ser aparells més grans, amb un consum força elevat, però sobretot, perquè són força cars, en l'ordre d'uns pocs milers d'euros. Hi ha versions més econòmiques que substitueixen el làser per *leds*, però segueixen costant uns quants centenars d'euros.

En conclusió doncs els sensors per ultrasons són uns dispositius que s'adapten prou bé a les necessitats, i entren dins del pressupost disponible.

2.1.3 Pantalles LCD

Són força les característiques i configuracions que podem trobar en pantalles LCD. Des dels tipus de led utilitzats, passant per la retroil·luminació, nivells de contrast, resolucions, taxa d'actualització, fins a un llarg etcètera. Així doncs els paràmetres pels que ens hem guiat han estat fonamentalment tres: mida, resolució i facilitat de connexió i ús.

A continuació farem una enumeració genèrica de les configuracions més habituals disponibles.

LCD d'alta resolució

Resolució	De centenars de milers a milions de píxels
Mida	Tot tipus de configuracions disponibles
Connexió	Paral·lel
Facilitat d'ús	Complicada: s'ha d'establir cada pixel



Figura 18: LCD d'alta resolució

Pantalla de caràcters

Resolució	Desenes de caràcters
Mida	De pocs centímetres fins a 20cm.
Connexió	Sèrie o paral·lel
Facilitat d'ús	Senzilla: el dispositiu s'encarrega de dibuixar els caràcters



Figura 19: Pantalla de caràcters

Pantalla de segments

Resolució	Molt baixa
Mida	Pocs centímetres
Connexió	Una per segment
Facilitat d'ús	Mitja: la gestió dels segments es deixa a l'usuari



Figura 20: Pantalla de segments

Tot i que la opció més atractiva és clarament un LCD d'alta resolució, presenta 3 complicacions importants:

- 1) El fet de que la connexió sigui en paral·lel. Això implica que no podem utilitzar els perifèrics de baix nivell oferts pel microcontrolador, com són UART, I2C o SPI. Per tant hauríem d'emprar els pins GPIO i implementar un protocol des de zero per a enviar les dades en paral·lel.
- 2) No facilita cap mena de llibreria gràfica, amb el que si vols dibuixar un caràcter has d'encendre píxel a píxel per a obtenir-lo, el que implica la necessitat d'utilitzar o desenvolupar una llibreria gràfica que sigui capaç de dibuixar fonts.
- 3) L'alta exigència en temps de processament, que en el nostre microcontrolador és una mica justa per a incloure aquest tipus de tasca.

La pantalla de caràcters en canvi ens resol aquests tres problemes. Primerament hi ha força disponibilitat de models que admeten comunicació en sèrie, per tant podem utilitzar els perifèrics de baix nivell per a comunicacions en sèrie del microcontrolador. Després, com que el seu objectiu és mostrar símbols i lletres, és una tasca que es delega al propi microcontrolador que incorpora la pantalla, i tan sols cal enviar quins caràcters volem mostrar que ja s'encarrega de dibuixar-los. I per aquest últim motiu, allibera al nostre microcontrolador d'aquesta tasca, i per tant de gastar-hi temps de procés.

L'opció d'una pantalla de segments pot ser interessant si la informació que necessitem mostrar hi cap en uns pocs segments. Però com que cada segment necessita la seva pròpia connexió, és un sistema que escala molt malament. A més si necessitem mostrar-hi lletres en cal una amb molts més segments.

2.2 Estudi de mercat

A continuació veurem les solucions existents que hem pogut identificar en el mercat, i una breu descripció del seu funcionament.

2.2.1 Sensors de proximitat

El desenvolupament de les mesures de seguretat activa en vehicles automòbils –sobretot en cotxes- ha estat tradicionalment enfocat a millorar l'estabilitat de la conducció. Elements com el ABS, control de tracció i control d'estabilitat són possiblement els més populars. Una vegada ben resolt, i gràcies a les noves possibilitats que ofereixen les millores tecnològiques en l'àrea dels sistemes encastats, sembla però que la prioritat comença a saltar cap al reconeixement de l'entorn.

De fet té força sentit: des del punt de vista de la seguretat, sempre és millor evitar les situacions de risc que no pas enfrontar-s'hi. Evitar una frenada brusca té moltes més garanties d'èxit que no pas realitzar-ne una, tot i que hi assisteixi un sistema ABS, per exemple.

És per això que alguns models de cotxes d'un temps ençà ja comencen a portar sensors destinats a la detecció de l'entorn. En particular ens interessen els sensors de proximitat incorporats, que fan funcions diverses, com d'assistència a l'aparcament, o detecció de vehicles en els punts morts. Si ens centrem en aquests últims, que són l'objecte d'estudi d'aquest treball, esbrinarem també les diferents solucions que s'han dut a terme per a solucionar un mateix problema.

El 2005 Volvo va llançar un sistema de detecció de vehicles en l'angle mort –anomenat BLIS- per als models S60 i XC70. És un sistema basat en càmeres, que se situa sota el propi mirall retrovisor. Realitza 25 captures per segon sobre una àrea de 9,5 x 3 metres a cada banda, i analitza les imatges en cerca de vehicles. Un cop detectats, mostra un senyal lluminós dins

l'habitacle, prop del propi retrovisor com s'observa en la figura 19. No va ser fins el 2010 que el sistema va començar a fer-se present de manera general entre d'altres marques i models.



Figura 21: Sistema BLIS en funcionament

La darrera iteració de Volvo d'aquesta tecnologia, substitueix el sistema amb càmeres, per a un sistema basat en radars d'ultrasons, aquesta vegada col·locats en els para-xocs anterior i posterior. Altres sistemes utilitzen radars basats en ones electromagnètiques.

En les motocicletes però és un sistema que no és present. Recentment, a principis d'aquest any 2016, BMW Motorrad ha llançat al mercat possiblement la primera motocicleta comercial que incorpora un sistema d'alertes de d'angle mort, en el seu model de maxi-scooter C650GT. També, al mes de març de 2016 Honda ha sol·licitat una patent per a un sistema de notificacions al conductor d'aproximació de vehicles. Sembla doncs que és una tecnologia que comença a agafar tracció i incorporar-se en el món de la motocicleta.

També hi ha qui proposa una solució al problema diferent, i més centrat a motocicletes: un sistema anomenat *Motorcycle Warning System*, proposa que les motocicletes enviïn un senyal als vehicles en la proximitat, que si tenen equipat el dispositiu adequat rebran de manera passiva l'avís.

2.2.2 Ajudes a la conducció

En les motocicletes les ajudes a la conducció són poques, i generalment només disponibles en models de gama alta o com a accessoris venuts per terceres companyies.



Uns d'aquests últims força populars i habituals, són els indicadors de la marxa seleccionada com el de la figura 19. Un altre i d'igual manera a un dels objectius d'aquest TFC, indicadors de punt òptim –o preferit - de canvi de marxa.

Figura 22: Indicador de marxa

Algunes motocicletes, com la BMW S1000RR ho porten de sèrie. Per a d'altres, una solució habitual és la comercialització d'aparells que es connecten a la ECU per a extreure les dades d'allà, o el reemplaçament del panell d'instruments sencer per a un que ofereixi aquestes funcionalitats.

Per últim, un altre dels temes que volem cobrir amb aquest treball és la construcció d'un índex de consum instantani. Això és una funcionalitat cada cop més present en tot tipus de vehicles, gràcies a la incorporació i accés a diferents sensors que componen no només els sistemes d'injecció electrònica de combustible, però tots els elements del cicle de combustió. Aquest sí que el podem trobar en alguns models de motocicletes, sobretot aquells destinats a un estil més *touring*¹². El funcionament es basa en explotar les dades rebudes per la ECU.

3 Descripció funcional

En la seva manera més generalista i abstracta, el projecte consta de tres funcionalitats bàsiques. La primera és el sensor de proximitat per a vehicles situats en l'angle mort: la manera en que ha de funcionar és mostrar un avís al conductor quan algun vehicle se situï en aquest punt que queda fora de la visió del conductor.

La segona, volem calcular un índex de consum instantani que ajudi a realitzar una conducció més econòmica. Així doncs quan el conductor està realitzant una conducció poc eficient hauria de quedar reflectit.

I la tercera, que pot estar relacionada o no amb l'anterior, és la d'un indicador de punt òptim en el que canviar la marxa. Veurem que el punt òptim, evidentment, és relatiu al que volem optimitzar, i que tenim diversos objectius diferents en moments determinats. Arribats a aquest punt òptim el conductor doncs ha de rebre algun feedback que li faci saber.

3.1 Sistema de proximitat

Definició dels requisits del sistema de proximitat

El problema originalment identificat sobre la dificultat per a reconèixer la situació dels vehicles de l'entorn del motorista pot ser resolt de diverses maneres. Per exemple, podríem millorar la visibilitat lateral utilitzant retrovisors amb miralls que tinguin una porció convexa als extrems. Avui en dia molts cotxes incorporen aquesta solució amb força èxit.

Si ens centrem en l'àrea dels sistemes encastats però, les solucions que podem trobar seran de naturalesa més activa. És a dir que podem construir solucions que resten feina al conductor. En comptes de millorar els retrovisors, podem treballar en direcció a una meta en que directament no facin falta. Així doncs les tasques del conductor es redueixen, focalitzant la seva atenció en aquelles altres que encara la requereixen.

És per això, que el sistema proposat com a solució a la dificultat de la descoberta de vehicles situats en els angles morts dels retrovisors, consisteix en un sistema d'alertes de proximitat. És

¹² Tipus de motocicleta destinada a fer rutes llargues o turisme, que prioritza la comoditat del conductor sobre altres aspectes.

a dir que el conductor rep un feedback quan es presenta la situació, en comptes d'haver-ho de comprovar periòdicament pel seu compte.

Si bé a hores d'ara ja tenim una idea bàsica de què fa el sistema, és possible que si no som conductors habituals no quedi clar el perquè. Les maniobres habituals durant la conducció de qualsevol vehicle, consten d'incorporacions a autopistes, carreteres o vies urbanes; avançaments a vehicles que circulen a una velocitat menor a la nostra; canvis de direcció que necessiten d'un canvi de carril o deguts a parades d'altres vehicles... Totes elles operacions en les que necessitem ocupar un carril diferent pel qual circulem, i per tant primer necessitem assegurar-nos de que és lliure.

Així doncs, aquesta operació que sovint és força fàcil, de manera anàloga al disseny de software, té uns quants *edge cases*¹³ i situacions complicades. Volem identificar-les per tal que el sistema sigui capaç:

- Vehicles situats en l'angle mort al moment d'una incorporació.
- Vehicles que t'avancen per l'angle mort i amb poca distància de seguretat, com és el cas d'altres motocicletes pels nuclis urbans.
- Vehicles que circulen pel carril contigu.
- Vehicles que arrel del mateix problema, envaeixen el carril per on circules.

La majoria d'aquestes operacions tenen una solució força fàcil i coneguda però: mirar per sobre de l'espatlla cap al lateral, per tal de comprovar sense cap ajuda més que la vista si realment hi ha algun vehicle. Però com sempre, cada avantatge ve amb el seu inconvenient, i en aquest cas desviem l'atenció del que ocorre al davant cap al lateral.

La visió perifèrica en l'ésser humà és força dolenta: a partir dels 30° es degrada cada cop més ràpid, com podem observar en la figura 23. Si girem el cap 90° doncs vol dir que només la part menys sensible de la nostra visió veu què passa davant. Això genera doncs moments de perill, en les que si mentre comproves el punt mort el trànsit que va per davant frena, pots no veure-ho fins que sigui massa tard i provocar un accident.

I és amb els raonaments anteriors, que funcionalment volem:

- 1) Evitar la necessitat de girar el cap per a realitzar les operacions anomenades anteriorment en la conducció.
- 2) Mostrar la informació d'una manera avantatjosa i que no vagi en detriment del sistema de visió humà.
- 3) Informar de situacions potencialment perilloses de manera activa, abans que es facin totalment efectives si és possible.

¹³ Situacions extremes, fent referència a la poca probabilitat que ocorrin, que sovint es passen per alt en l'etapa de disseny i/o implementació.

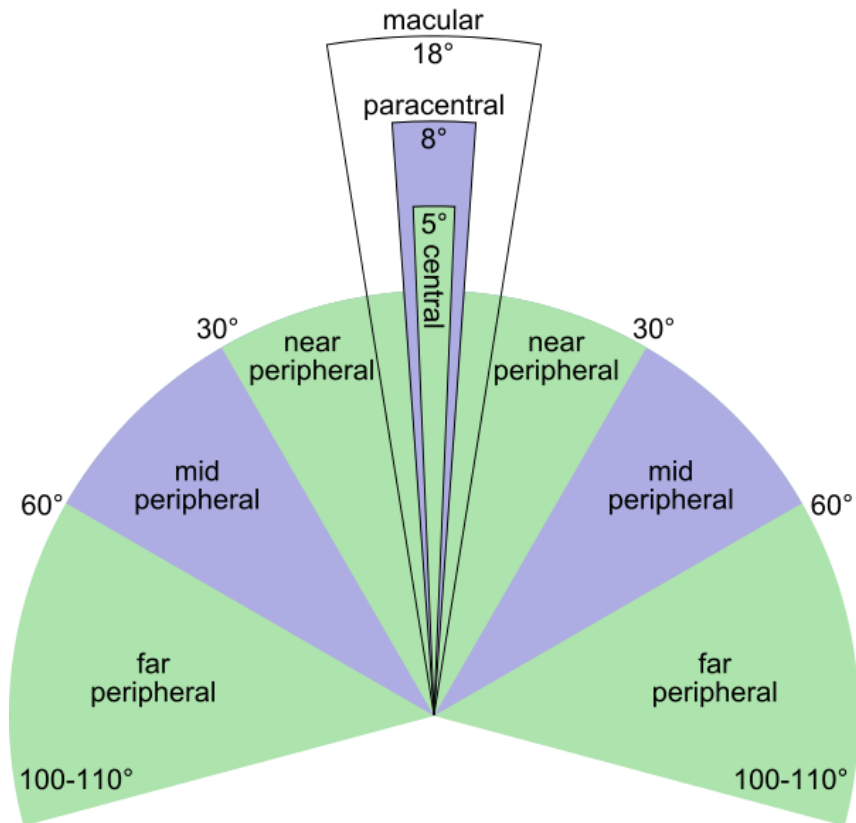


Figura 23: Visió perifèrica en l'ésser humà

Funcionament de les parts

Així és doncs com hem triat com a sistema de feedback principal, un codi d'advertències per colors. La retroil·luminació del LCD que hem escollit, es fa efectiva mitjançant els 3 leds que incorpora: vermell, verd i blau. D'aquesta manera amb la superposició en diferents quantitats d'aquests 3 colors aconseguim emetre una paleta de colors extensa.

Com a entrada sensorial del sistema, hem esmentat que fem ús d'un radar força bàsic basat en ultrasons. És bàsic perquè el seu rang de funcionament és força curt, amb un mínim de 20 cm i un màxim de 450 cm, i amb un angle de treball de 30° en el pla horitzontal. A més, per a un funcionament correcte necessita funcionar contra superfícies perpendiculars i amb una àrea superior a 0,5m². Com que el domini d'objectes que volem detectar són vehicles que condueixen per la mateixa calçada, la seva direcció serà majoritàriament perpendicular, i la seva superfície sempre major a 0,5m².

El radar, en ser demanada una mesura pel microcontrolador, funciona llançant 8 feixos d'ultrasons a una freqüència de 40 KHz. Llavors espera que aquests rebotin contra algun objecte que es trobi en el seu camí, i tornin cap al transductor que els ha emès, com podem observar en la figura X. El dispositiu informa al microcontrolador del temps que ha passat entre l'emissió i la recepció, i a partir d'aquí i coneixent la velocitat de la transmissió del so en l'aire que és d'uns 340 m/s, podem inferir la distància a la que es troba l'objecte.

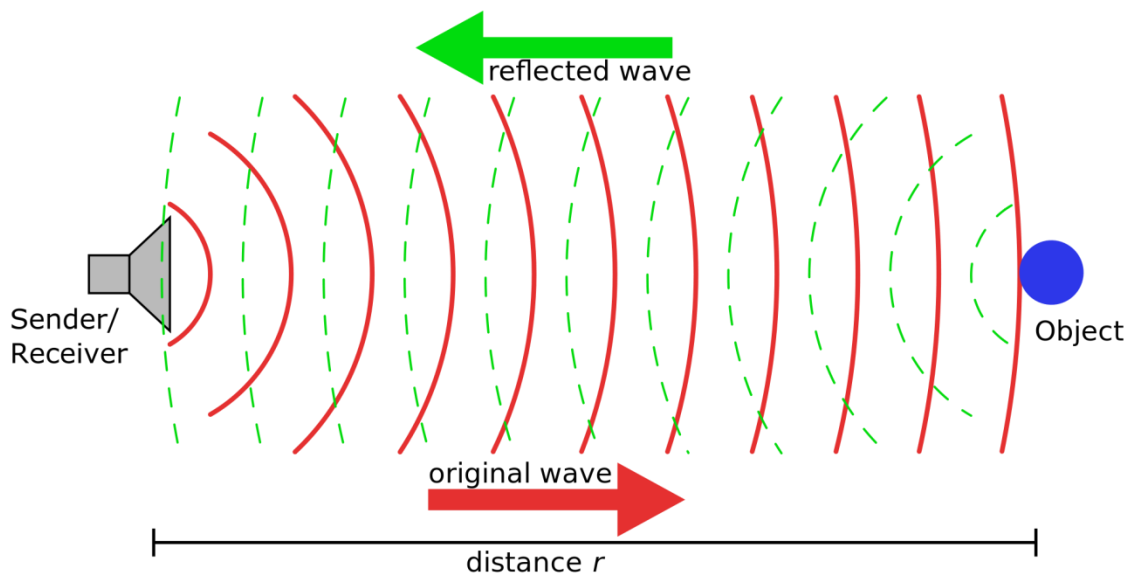


Figura 24: Funcionament d'un sonar

Fins aquí hem cobert la funcionalitat sensorial del sistema. Ara bé, com determinem els riscos?

Identificació de riscos

Sabem que a Espanya i segons la normativa¹⁴, l'ample d'un carril en autopistes, autovies i carreteres ha de ser de 3,5m. En algunes circumstàncies es pot rebaixar fins als 3m, sempre que vagi acompanyat d'una reducció de la velocitat. En vies urbanes però és habitual que es redueixi fins als 2,75m o menys. En base a això doncs, hem triat com a límit superior de les alertes de proximitat 3,75m, ja que entenem que si un vehicle es troba a aquesta distància, implica que se situa almenys dos carrils més enllà. El rang d'interès doncs va de la distància mínima¹⁵ que és de 15 cm a 375cm.

És evident doncs que a més proximitat major risc, i inversament quant més lluny menys risc. Amb la idea de donar un feedback ràpid i entenedor de la situació, hem optat per un codi de 3 colors, utilitzant els habituals vermell, groc i verd, per a reflectir situacions de molt perill, advertència, i risc molt baix, respectivament. Hi ha un tercer color, amb l'única finalitat de retroil·luminar la pantalla quan no hi passa res d'interessant, que és el blanc.

Límit inferior	Límit superior	Color
15cm	135cm	Vermell
136cm	255cm	Groc
256cm	375cm	Verd

Figura 25: Nivell de risc segons la proximitat

¹⁴ Norma 3.1-IC Trazado, de la Instrucción de Carreteras

¹⁵ Segons especificació del sonar és de 20, però experimentalment hem vist que és de 15 cm.

La categorització del tipus de risc, l'hem fet de manera lineal, dividint el rang útil de detecció entre tres, com podem observar a la figura 25.

Per a mostrar el color correcte pel LCD, utilitzem la funcionalitat PWM¹⁶ oferta per la placa del microcontrolador. En el cas concret del color groc per exemple, s'activa el led vermell el 100% del temps, i el led verd el 15%, de manera repetida i en períodes molt curts de manera que no és detectable visualment.

Fins aquí hem cobert la identificació i valoració de riscos que suposen vehicles en la proximitat. Però podem anar un pas més enllà i identificar situacions potencialment perilloses? Un vehicle situat a 3,5m que se'ns apropa a 4 m/s farà impacte en 875 milisegons. El temps de reacció mitjà en l'ésser humà per a pistes visuals és de 250 ms. En el cas proposat despondríem de 625 ms per a prendre mesures correctives.

Així doncs també hem incorporat una funcionalitat preventiva utilitzant aquests paràmetres com a base. Per una banda, hem arrodonit, de manera optimista, el temps mínim de reacció a 300 ms com a temps mínim que necessitem per a rebre el feedback i començar alguna acció. Per tant, si un vehicle se'ns apropa massa ràpid no ens molestarem en presentar cap feedback ja que no hi podem fer res al respecte. Aquesta decisió aporta un valor afegit i és el següent: quan avancem algun vehicle, en un moment donat apareix de manera sobtada dins l'àrea del radar, fent-li pensar que s'apropa a gran velocitat. Aquest fet que generaria una alerta ja no ho fa.

Per a la identificació del nivell de risc d'aquesta funcionalitat, hem considerat l'interval de temps d'impacte útil dels 300ms fins als 3000ms. Com podem observar en la figura 26, no hem utilitzat una escala lineal com amb la proximitat, ja que s'interpreta que un temps d'impacte de 1650ms no suposa la meitat de risc, si no que encara és força elevat. Per tant hem fet servir una funció exponencial que retorna un índex de risc de 100 quan el temps per impacte és de 300 ms, i de 0 quan és superior a 3 s.

Límit inferior	Límit superior	Color
300 ms	1874 ms	Vermell
1575 ms	2510 ms	Groc
2511 ms	3000 ms	Verd

Figura 26: Nivell de risc segons el temps d'impacte

¹⁶ *Pulse Width Modulation*. S'emeten polsos de corrent de durada determinada, amb la finalitat d'aconseguir un comportament igual a que si empréssim un voltatge menor del realment utilitzat.

3.2 Sistema d'ajudes a la conducció

El primer dels sistemes d'ajuda plantejats, és el del càlcul d'un índex de consum instantani. L'objectiu és per una banda l'adquisició d'un millor coneixement del comportament de la motocicleta, i per l'altre obtenir una guia que ajudi a fer un ús més responsable i reduir l'ús de combustible.

Un dels riscos ja identificats en la proposta del treball, va ser la dificultat en poder calcular un consum instantani prou exacte. De fet era molt desitjable poder obtenir els litres per quilòmetre consumits. Per a assolir aquest objectiu, es vol establir una connexió amb la ECU de la motocicleta, i extreure'n els paràmetres que ens permetin calcular aquest índex de consum.

La ECU utilitza un protocol anomenat *Keyword Protocol 2000*, que s'empra de manera habitual en centraletes electròniques de tot tipus de vehicles com a protocol de comunicacions. Així doncs hem implementat un subconjunt d'aquest protocol de manera que podem demanar a la ECU que ens retorni informació com les revolucions per minut del motor, i el grau d'obertura del puny de gas, que són mesures directament relacionades amb el consum.

El consum de combustible però és una funció del flux d'aire d'admissió, i de la proporció d'aire i benzina utilitzat. Són dues dades que no ens ofereix la centraleta. Sense aquestes dades, una norma general és que a més revolucions, més benzina es consumeix, ja que s'injecta més vegades per segon. Una altra, és que a més obertura del puny de gas, més eficient és el motor. D'aquestes dues dades, podem inferir que la conducció més eficient es amb el puny totalment obert i a quantes menys revolucions possibles sense arribar a ofegar el motor.

El problema doncs és que això ja ho ofereix la motocicleta de sèrie, amb el tacòmetre que incorpora. A més, el grau d'obertura del puny de gas té molt menys pes que no les revolucions. Així doncs, la funcionalitat oferta és mostrar pel LCD les revolucions per minut exactes i el percentatge d'obertura del gas, donant al conductor el millor dibuix possible de la situació del consum de combustible en aquell instant.

El segon sistema d'ajuda, és un indicador del punt òptim on canviar de marxa. Ara bé, quan parlem del punt òptim, què volem optimitzar?

Hem identificat doncs tres situacions de conducció quotidianes: una de tipus esportiva, per a sortides de cap de setmana i entrades a circuit, on el que volem optimitzar és l'acceleració i entrega de potència del motor. L'altra, una conducció que anomenem estàndard, que no és més que la conducció del dia a dia, fent un bon ús del rang de potència del motor. I la darrera una conducció econòmica, on l'objectiu doncs no és un altre que mantenir el motor a les revolucions més baixes possibles per a reduir el consum de combustible.

Per a poder passar d'un mode a l'altre s'ha optat per observar el mode de conducció i inferir en quina modalitat hem de treballar. L'altre possibilitat seria fer-ho configurable, via Wifi per exemple, però no és gaire pràctic ni permet canviar de mode en marxa. Així doncs es pren un mostreig de les N últimes lectures, a partir del qual determinem la mitja de les revolucions en aquest període. Per últim, definim unes fites que s'han d'assolir per a passar d'un mode a l'altra, i uns valors associats a cada fita que marquen en quin moment –punt òptim- la funcionalitat s'ha de disparar, com podem veure en la figura 27.

Mode	Mitja RPM >=	RPM òptimes
Esportiu	6000	9000
Estàndard	4200	6000
Econòmic	0	4500

Figura 27: Modes de l'indicador de canvi de marxa

Per últim, la manera en que aquesta funcionalitat proveu el feedback al conductor, és també mitjançant la retroil·luminació del LCD. Però com que el sistema de codis per colors ja està emprat pel sistema de proximitat, el que fem es generar pampallugues, apagant i encenent la retroil·luminació amb una cadència determinada

Finalment en la figura 28 podem veure un diagrama del funcionament del sistema.

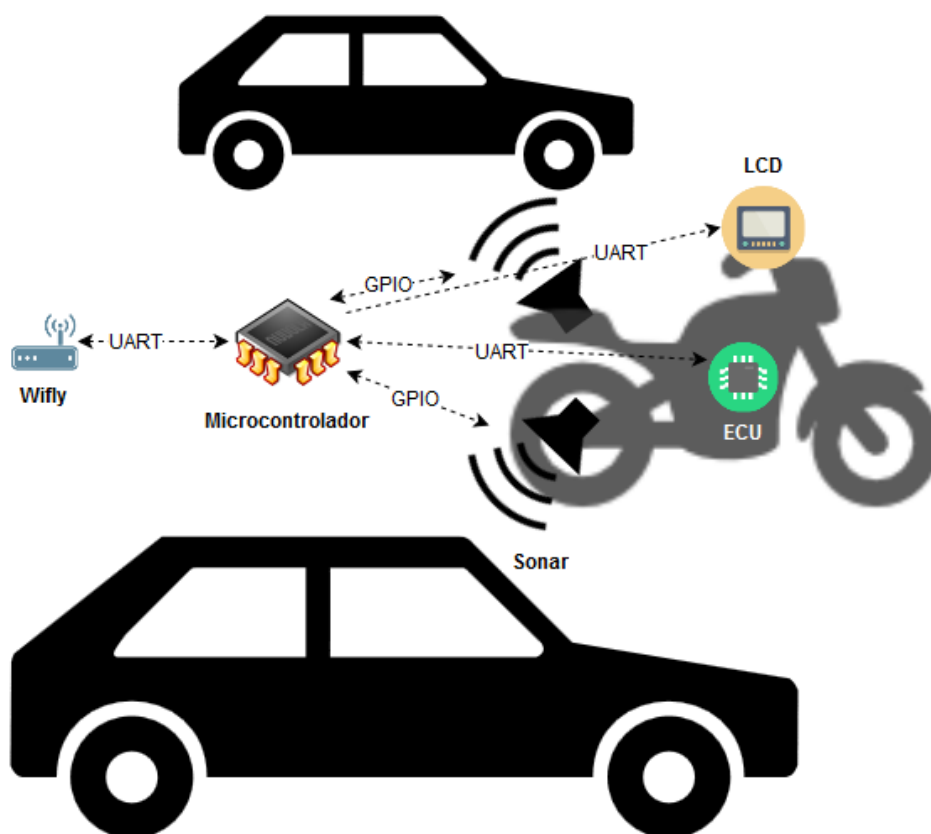


Figura 28: Diagrama funcional del sistema

3.3 Disseny de l'aplicació en la placa LPC1769

El disseny de l'aplicació per la placa-microcontrolador, s'ha dut a terme seguint una metodologia de programació estructurada amb el llenguatge de programació C. S'ha promogut una separació de responsabilitats en el codi escrit, i s'han dissenyat les funcionalitats en mòduls aïllats un de l'altre. D'aquesta manera hem pogut evitar solapaments en funcionalitats, evitant duplicació de codi i obtenint altres beneficis derivats d'aquesta pràctica, com són la contenció de fallides de programació –sempre que no siguin crítics-, facilitat en el manteniment, reutilització del codi i una corba d'aprenentatge de la plataforma força plana.

El disseny d'aquests mòduls s'estructura en dos grans blocs, per una banda el de *Libraries*, que es tracta d'un conjunt de capes d'abstraccions sobre serveis de baix nivell, i per l'altra el bloc específic d'aplicació, que conté els mòduls amb funcionalitat concreta i especialitzada, és a dir amb poques possibilitats de ser reutilitzada en projectes de requeriments diferents.

El bloc de *Libraries* té una dependència total sobre les llibreries CMSISv2. Això s'ha decidit així perquè CMSIS abstreu tot el referent a l'adreçament de memòria per a accedir a les funcionalitats dels perifèrics, que és una tasca molt farragosa, assignant unes notacions que sovint van de la mà amb el manual d'usuari de la placa i facilita el desenvolupament. Per al mòdul UART, hi ha una dependència suau amb el sistema operatiu FreeRTOS, que utilitza el sistema de cues per a enviar les respostes, col·laborant així a una millor utilització dels recursos del microcontrolador. Si calgués és fàcil de desacoblar però.

Els mòduls de baix nivell desenvolupats doncs són:

GPIINT: s'encarrega de preparar el sistema per a que sigui capaç de llançar i capturar els IRQ¹⁷ generats per les transicions d'estat dels pins GPIO. A més, en facilita la subscripció als esdeveniments, possibilitant que diferents mòduls accedeixin a la funcionalitat sense que s'hagin de posar d'acord, ja que és un recurs compartit.

PWM: ofereix la funcionalitat *Pulse Width Modulation* d'una manera abstracta que el fa molt fàcil d'utilitzar. Tant sols se li ha de dir quin canal es vol utilitzar i el percentatge de temps que ha de durar una pulsació.

Timer: ofereix un servei comptador de temps amb precisió de microsegons. FreeRTOS també disposa d'un comptador, però la precisió que té, en el nostre cas, és de milisegons, que sovint no és suficient per a tasques molt crítiques en la gestió temporal.

¹⁷ *Interrupt Request* és una senyal llançada per hardware que indica al processador que deixi el que està fent i executi una tasca prioritària associada al senyal.

UART: facilita la configuració d'un port UART, amb la parametrització d'uns quants paràmetres crítics, i encarregant-se de la resta de detalls que en són força. També en gestiona l'accés al medis mitjançant exclusió mútua, garantint la integritat de les comunicacions.

Watchdog¹⁸: es tracta d'una petita abstracció per a activar el Watchdog i alimentar-lo, sense haver de conèixer els detalls d'implementació.

Els mòduls d'aplicació, tenen una forta dependència tant sobre el conjunt de *Libraries*, com sobre FreeRTOS. La dependència sobre FreeRTOS és deguda a que s'ha utilitzat aquest sistema operatiu en temps real per a la gestió de diversos aspectes.

Primerament per a la programació de tasques: mitjançant la creació de tasques amb unes prioritats ben definides, podem indicar quines funcionalitats són més crítiques i per tant s'han d'executar abans que qualsevol altra. A més, si una tasca amb poca prioritat abusa del seu temps d'execució, s'encarrega de suspendre-la i re-assignar el temps de procés a una altra. Això és especialment important en el nostre sistema, ja que el sistema d'alertes per proximitat ha de funcionar sempre, sense excepció, i ha de ser totalment prioritari.

També fem un ús extensiu del sistema de cues que incorpora. Si alguns mòduls s'han de comunicar entre sí, hem decidit que ho facin per mitjà de cues facilitant així que no requereixin de sincronia i puguin actuar independentment unes de les altres.

I per últim, pels mecanismes d'exclusió mútua que ofereix. Per exemple quan escrivim al LCD, no volem que mòduls diferents es trepitgin i la pantalla acabi mostrant dades errònies.

Els mòduls d'aplicació que podem trobar en el codi són:

Debug: Facilita activar o desactivar expressions en temps de compilació, segons si volem depurar el programa o volem fer una release de producció. Majoritàriament s'ha emprat per a llançar missatges de depuració.

Ecu: Estableix un canal amb la centralita de la moto, amb les particularitats del protocol KWP2000 abstretes, i facilita la petició i obtenció de paràmetres com són les revolucions per minut i el grau d'obertura del puny de gas.

EcuFeedback: Seguint el model de separació de responsabilitats, mentre que el mòdul Ecu s'encarrega de la comunicació amb la centralita, aquest el que fa és processar les dades obtingudes

¹⁸ Es un comptador marxa enrere, que si ningú reinicia ("alimenta"), en arribar a 0 reinicia el sistema.

Lcd: Una llibreria de control del LCD, que abstruï el funcionament i comandes necessàries que s'han d'enviar al LCD via UART. També proveu de mecanismes d'exclusió mútua.

Log: Mecanisme que facilita enviar a un visor d'esdeveniments missatges informatius o de depuració sense consumir massa temps de processament.

Main: Realitza les tasques de preparació i inicialització del sistema i aplicació.

Proximity: S'encarrega de processar les mesures obtingudes des del sonar, avaluar-les, i mostrar el feedback adequat mitjançant la retroil·luminació LCD.

Sonar: Envia una petició periòdicament als mòduls hardware dels sonar i en mesura la distància.

WiflyTerm: Facilita la visió d'esdeveniments via Wifi per mitjà del mòdul de hardware Wifly. També gestiona la funcionalitat del mòdul Log, engegant-la o apagant-la en obrir una connexió via Telnet o en tancar-se.

En la figura 29 podem veure com estan jerarquitzats i com es relacionen entre si els components.

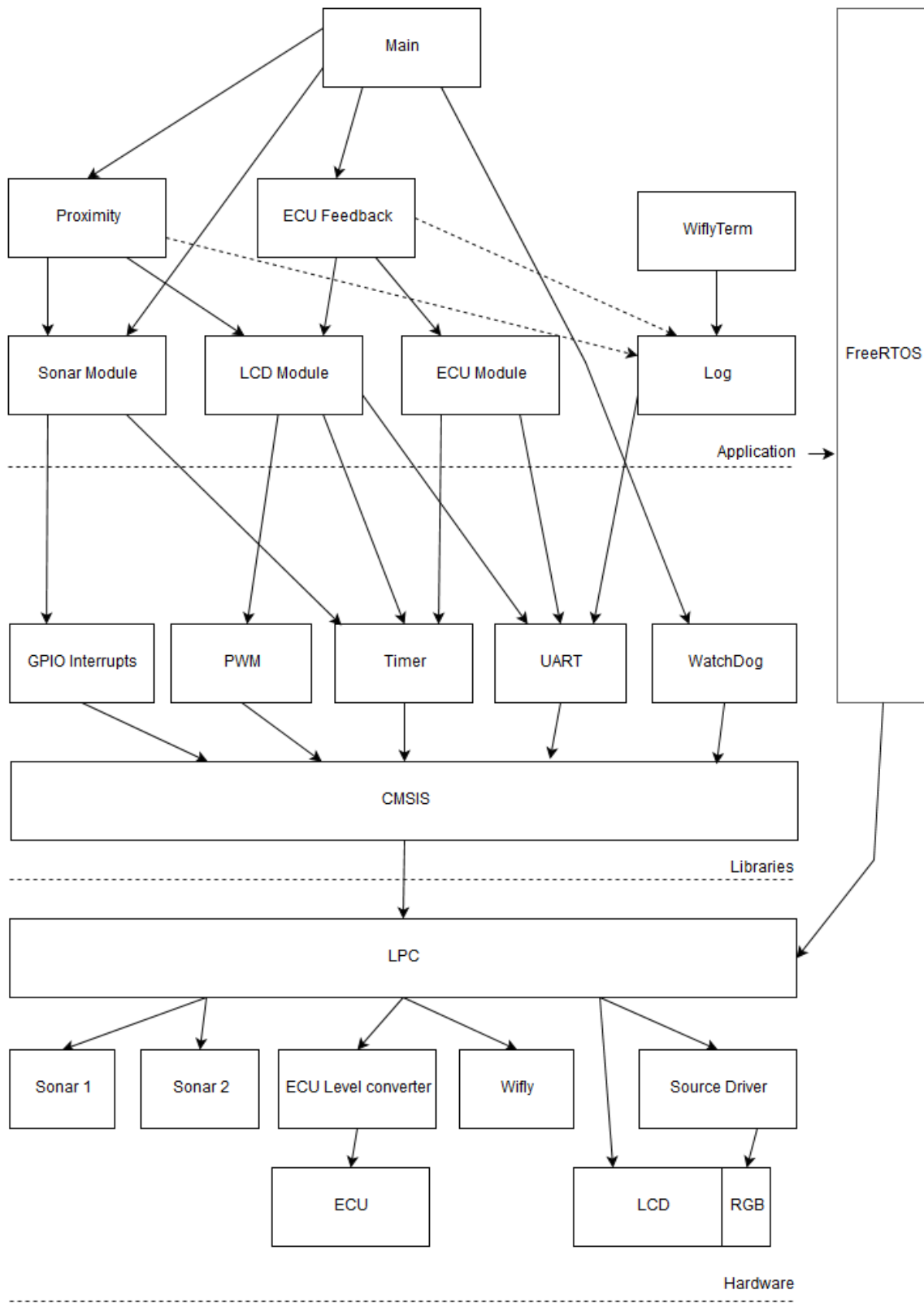


Figura 29: Diagrama de blocs de l'aplicació

4 Descripció detallada

A continuació veurem detalls tècnics i d'implementació de les diferents funcionalitats del sistema, argumentant la presa de decisions, tant pel que fa als components de hardware utilitzats com al disseny de l'arquitectura del software.

4.1 Circuit d'alimentació

La font d'alimentació del sistema ve donada pel sistema elèctric de la motocicleta, que és d'uns 12 volts, augmentant fins a un màxim de 15 V en funcionament. Els motors moderns porten un sistema de generació de corrent, com un alternador, accionat pel propi motor. És per això que el voltatge de sortida en el sistema, tot i tenir components rectificadors que el regulen, no és especialment estable. De fet augmenta i disminueix segons les revolucions del motor.

Dins del sistema, també tenim components que treballen a diferents voltatges:

- **3,3 Volts:** El microcontrolador
- **5 Volts:** Els mòduls de sonar i el dispositiu LCD
- **12 Volts:** El circuit integrat que es comunica amb la ECU.

Així doncs, amb dues finalitats hem adoptat l'ús de dos reguladors de tensió: un que genera una font de tensió estable a 5V i un altre com a font de 3,3V. Aconseguint proporcionar el voltatge necessari a cada part del sistema, i estabilitzem la tensió en el sistema.

Especialment quan tractem amb dispositius i senyals digitals, és important comptar amb tensions estables. Hi ha diverses maneres en que es pot introduir soroll en un circuit i provocar inestabilitats:

- **Interferències electromagnètiques:** són les més complexes de tractar i no hem arribat a atacar el problema.
- **Bucle de massa:** hi dóna lloc quan, pel fet de tenir camins diferents fins a massa, poden agafar corrent degut a inducció electromagnètica, generant que punts que haurien d'estar al mateix potencial, en realitat tinguin diferències. Això es pot prevenir fent els camins a massa el més curts possibles, i emprant una topologia en estrella de manera que tots els camins s'uneixin en el mateix punt.
- **Soroll causat per les variacions de corrent:** quan disposem d'una tensió de sortida fixa, en canviar la demanda de corrent la font d'alimentació no hi pot reaccionar de manera instantània, ja que és més aviat lenta. Això provoca doncs que les tensions fluctuïn fora dels seus valors normals. Un regulador de tensió lluita en certa mesura contra això, però necessita una ajuda extra: condensadors de desacoblament. Consisteix a situar condensadors en curtcircuit a prop dels components del circuit que són propensos a canviar la demanda de corrent. Quan es carreguen, actuen com a un

circuit obert, però quan hi ha un canvi en la demanda poden contribuir al corrent descarregant-se parcial o totalment. Com a benefici afegit, també ajuden a absorbir pics de tensió.

Per últim, també l'hem dotat de sistemes de protecció. El primer d'ells, contra polaritat inversa, mitjançant un díode dimensionat al corrent màxim del sistema. Així en el cas de que el corrent circuli en el sentit invers assegurem la integritat del sistema. El segon, la incorporació d'un portafusibles amb un fusible ràpid de 500 mA, per a protegir el circuit en casos de mal funcionament o curtcircuits.

El corrent màxim del sistema en un moment donat se situa en l'ordre d'uns 380 mA. A continuació en la figura X podem veure l'esquemàtic del circuit d'alimentació, on els dos blocs grans són els reguladors de corrent.

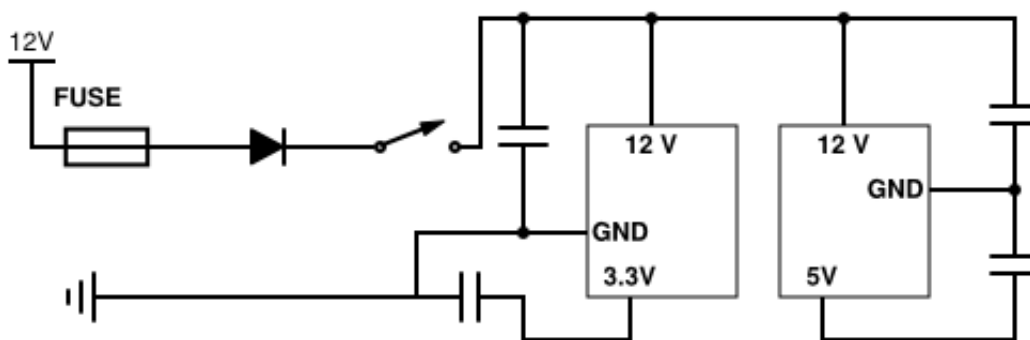


Figura 30: Esquemàtic del circuit d'alimentació

4.2 Inicialització del sistema

L'alimentació del conjunt va lligada al contacte de la motocicleta. És a dir que quan es treu el contacte, s'apaga tot el sistema, i en donar-lo s'engega. Per al apagat, no s'ha de prendre cap tipus d'acció especial. En rebre corrent després de donar el contacte però, la placa configura tots els seus perifèrics a valors per defecte, i després inicialitza el programa des del seu punt d'entrada. És per això doncs que la primera feina del sistema, és preparar l'entorn.

Com podem veure en la figura 31, el primer pas és l'enregistrament de la tasca "Setup task" i tot seguit iniciem el programador de tasques del sistema operatiu, que al ser la única tasca la inicia, i comença la configuració de la resta de mòduls i l'enregistrament de les tasques a realitzar de cada mòdul. Aquest flux que sembla una mica estrany, es justifica en que per a fer servir algunes funcionalitats del sistema operatiu, necessitem que el programador de tasques estigui actiu. Aquesta és la solució més pràctica, que no pas l'alternativa que era no utilitzar el SO en la fase de configuració.

És la "Setup task" qui té el coneixement de les tasques que s'han d'executar, i quina prioritat ha de tenir cada una.

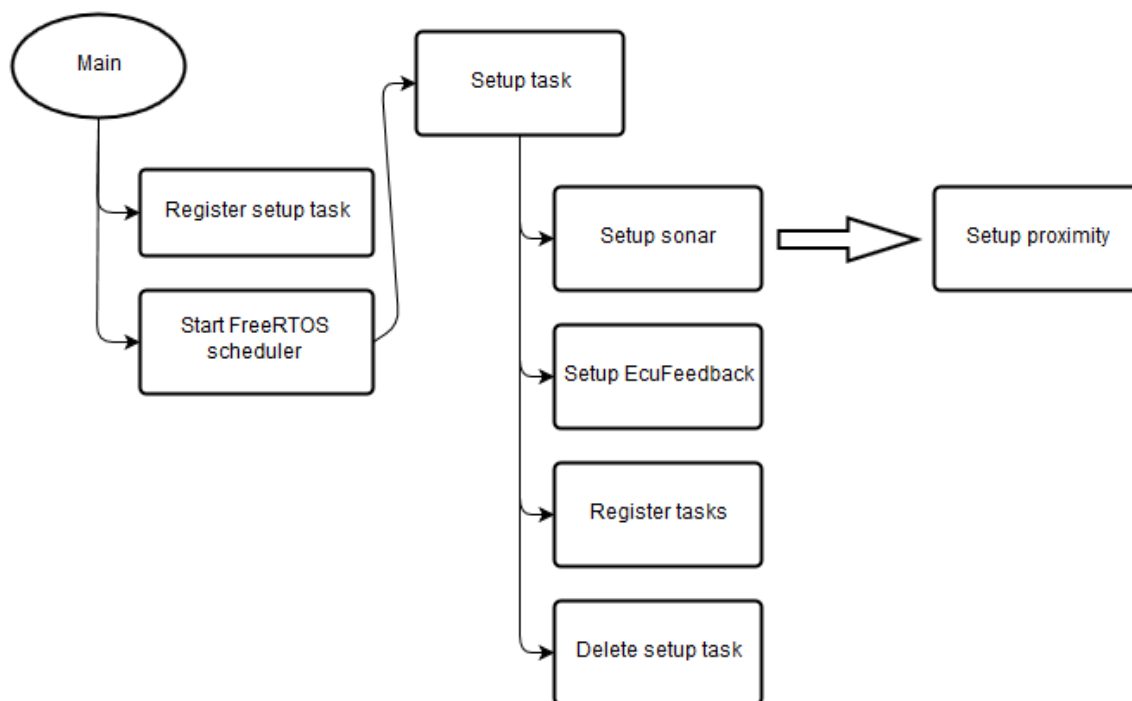


Figura 31: Diagrama d'execució de l'inici

4.3 Mòdul LCD

El mòdul LCD consta d'un dispositiu que treballa a 5V, i accepta comandes via sèrie amb nivells TTL. Adjunt, hi té un petit mòdul de leds, que il·luminen la pantalla des del lateral. Així doncs hi ha dos aspectes que s'han de controlar: el voltatge que arriba a cada un dels leds, i les dades que arriben via sèrie.

Un aspecte que s'ha hagut de tenir en compte, és el consum dels leds. Amb 20 mA cada un, no és possible alimentar-los des de la placa sense córrer el risc de sobrecalentar-la ni patir caigudes de tensió. Així doncs, s'han connectat a un connectat a 5V cada un, amb la resistència adequada per a cada led, ja que el vermell funciona a 2,2V i els verd i blau a 3,3V. També, hem comentat amb anterioritat la possibilitat de generar colors diferents amb la funcionalitat PWM de la placa, consistent en manipular la brillantor de cada led.

Així doncs, necessitem controlar l'entrega de corrent a aquests leds. La opció triada ha estat utilitzar un circuit integrat –codi UDN2981A–, que és un controlador de 8 canals. Podem veure la configuració en la figura 32. En rebre voltatge del microcontrolador per un canal en concret, deixa passar corrent des de la font d'alimentació fins al led.

Per a enviar les comandes al port RX del LCD, s'ha emprat un dels ports UART. Com que només rep informació, amb un sol canal en tenim prou.

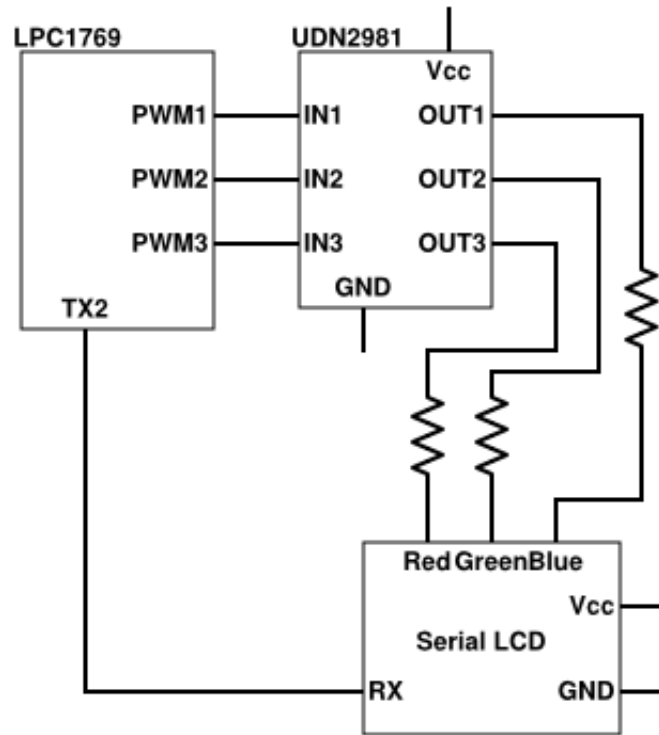


Figura 32: Esquemàtic LCD

Per a escriure en la pantalla, cal manipular la posició del cursor amb precisió. Si dues tasques interfereixen l'una amb l'altra, acabarien apareixen caràcters intercalats o erroris, i en posicions incorrectes. Així doncs s'ha inclòs un semàfor que controla l'accés al medi, i fins que una tasca no renúncia al control, una altra no hi pot accedir. Podem veure el comportament en la figura X. És per això que s'ha pres cura en minimitzar el temps que un procés té el recurs bloquejat.

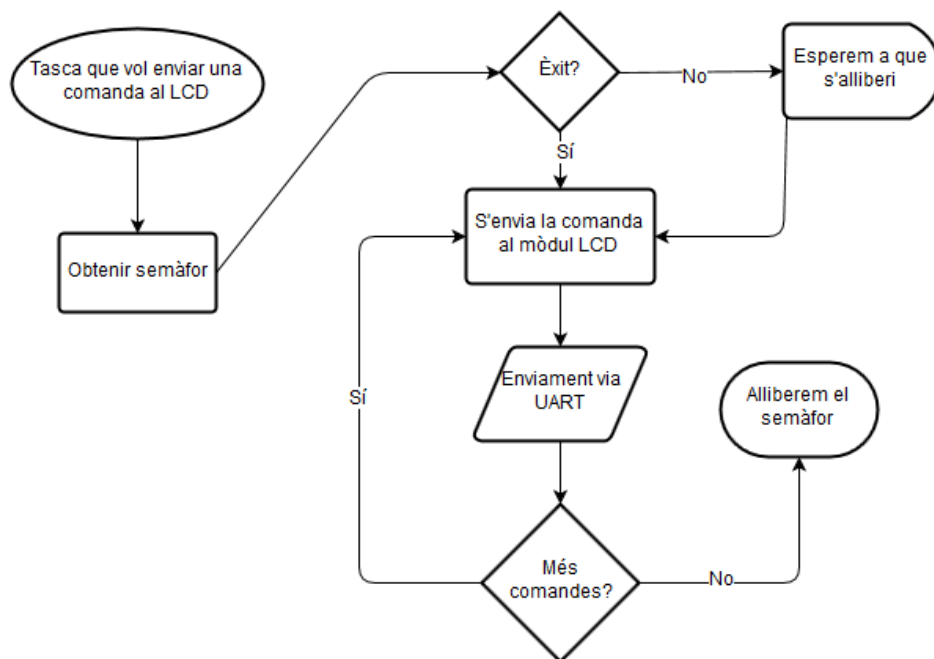


Figura 33: Enviament de comandes al LCD

4.4 Sistema de proximitat

Per al sistema de proximitat disposem de dues unitats de sonar, una per a cada banda. Aquestes unitats treballen a 5V i incorporen els seus propis microcontroladors, de manera que la seva utilització és senzilla. Disposen de 4 pins: 5V, Trigger, Echo i GND.

Com que disposen de la seva placa, no els cal un condensador de desacoblament.

El fet de que treballin a 5V tampoc suposa cap problema per a la comunicació entre el nostre sistema i el sonar, ja que la palca LPC1769 és tolerant a 5V en la majoria dels seus pins.

Així doncs per a cada sonar, com podem veure en la figura X connectem les sortides “Trigger” i “Echo” a pins en modalitat GPIO. Per a instruir al sonar que comenci una mesura, és necessari enviar un pols d’una durada d’almenys 10 microsegons. Llavors aquest com a resposta, posarà la sortida “Echo” a 5V amb la mateixa duració que el temps de vol del feix d’ultrasons entre anar i tornar. Si no tornen, hi ha un temps màxim de 35 milisegons, que és una distància fora del rang de l’aparell, i per tant entenem que no s’ha detectat cap obstacle.

Hi ha dos mòduls diferents que integren aquesta funcionalitat. Per una banda el anomenat “Sonar”, que es subscriu a la llibreria GPIOINT per a rebre els canvis d’estat en la línia “Echo”. Per a disparar les lectures, declara una tasca que envia polsos de manera periòdica a ambdós sonars. En obtenir la resposta, obté la distància en centímetres i la posa en una cua, junt amb quin ha estat el sonar que ha fet la lectura. La figura X mostra la interacció entre tasques i el sistema.

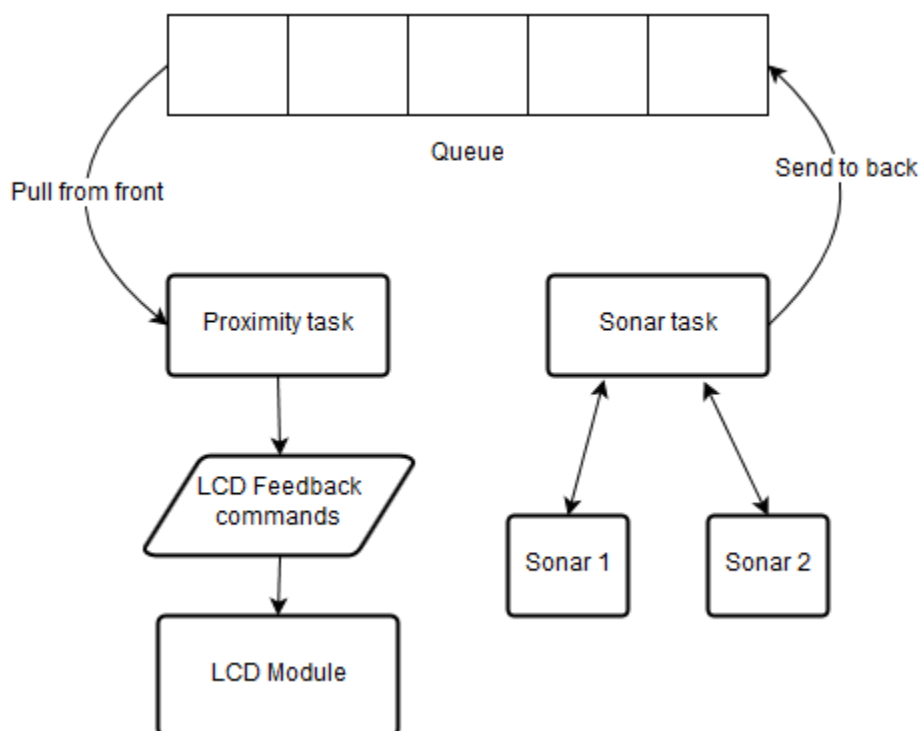


Figura 34: Enviament de missatges del sistema de proximitat

S'ha triat una cua per al pas de missatges per dues raons: desacoblar el codi, i per facilitar que les tasques no hagin de fer altres operacions per a rebre les dades, com polling, o bloquejar l'execució del sistema fins a rebre una resposta. A més, la tasca "Proximity" és la de més prioritat de tot el sistema, i no ens podem permetre que no deixi temps d'execució a la resta de funcionalitats.

La tasca "Proximity" llavors ha d'avaluar si la distància mesurada presenta un risc, i si ho és mostrar el feedback via LCD. Però una cosa a tenir en compte, és que estem recollint dades de dues fonts diferents. L'arbre de decisions que avalua si cal actualitzar el feedback, ha de tenir en compte si: el nou risc és més elevat que l'anterior, o si pel contrari els riscos detectats en ambdós sonars, son els dos més baixos que el que s'està mostrant actualment en pantalla. En el primer cas ha d'incrementar el nivell de risc mostrat, i en el segon l'ha de disminuir.

L'algorisme es complica quan afegim a la barreja les alertes per col·lisió. El comportament és anàleg al explicat anteriorment, afegint en l'arbre de decisions un algorisme que agafi el màxim risc detectat d'entre totes les possibilitats.

4.5 Sistema d'ajudes a la conducció

El sistema d'ajudes a la conducció té com a base del seu funcionament establir una comunicació amb la ECU, d'on hi extreu les dades.

L'establiment de la comunicació amb la ECU, té una sèrie de particularitats. Utilitza el *Keyword Protocol 2000*, que defineix el funcionament en cada una d'aquestes tres capes: física, de dades, i d'aplicació.

Per a la capa física, que treballa a 12V, hem utilitzat un circuit integrat –referència L9637D- que s'encarrega de fer la conversió de nivells des de TTL fins al nivell de la K-Line¹⁹. A més, en la figura 35 podem observar cal afegir una resistència *pull-up*²⁰ per a que el conjunt funcioni correctament.

L'enviament de dades es realitza per un dels perifèrics UART disponibles. En aquest cas però, podem observar que la comunicació amb la ECU és half-duplex²¹, ja que només hi ha una sola via per a enviar i rebre dades. Això vol dir que no podem emprar el perifèric UART de manera tradicional, si no que al enviar dades, hem de tenir present que les rebrem de tornada, similar a

¹⁹ És el nom que rep el bus de dades que s'utilitza tant per a rebre com enviar dades de la centralita

²⁰ És una resistència situada entre una font de tensió i el conductor d'un senyal digital, per assegurar que hi viatja un nivell lògic correcte.

²¹ És un canal de comunicació que disposa d'un únic bus tant per a enviar com rebre dades, per tant exigeix algun tipus de sincronització.

un eco. El que fem llavors, és buidar el buffer de recepció del perifèric UART just després d'escriure-hi, per tal de que quan rebem la resposta estiguem segurs que efectivament només hi ha la resposta.

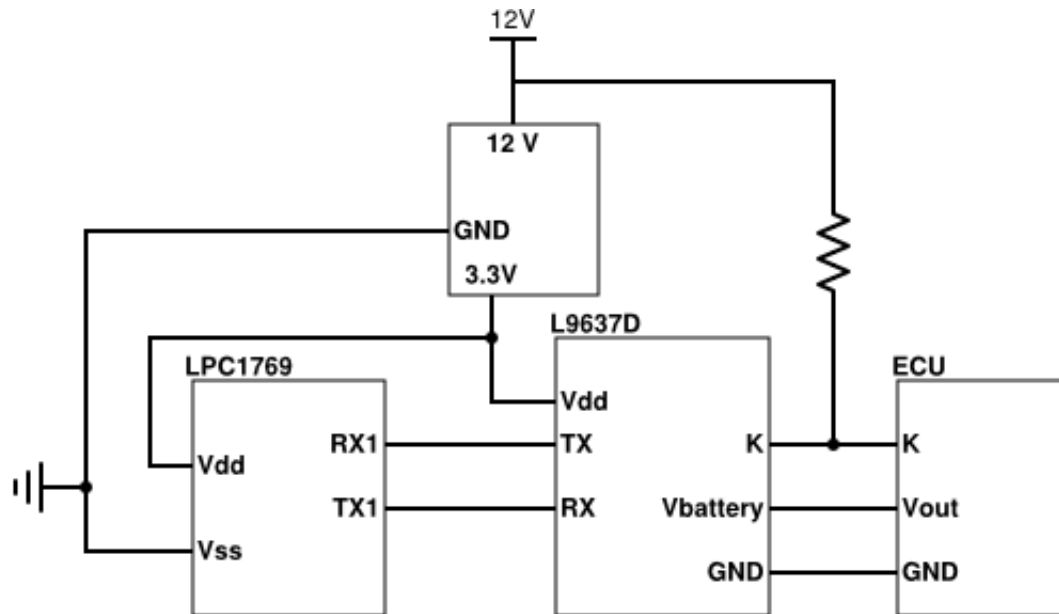


Figura 35: Esquemàtic de la connexió amb la ECU

Un dels requeriments del protocol, és que abans de poder comunicar-se amb la centralleta, se li ha d'indicar a aquesta que comenci la escolta de comandes. És el procediment que l'estàndard anomena *fast-initialization*. Com podem veure en la figura 36, consisteix en, passat un temps T_{Idle} , emetre un pols a nivell baix durant T_{iniL} , que és de 25 milisegons, per a tot seguit emetre'n un altre a nivell alt durant uns altres 25 milisegons. Tot seguit s'ha d'enviar una trama de petició d'inici de comunicació.

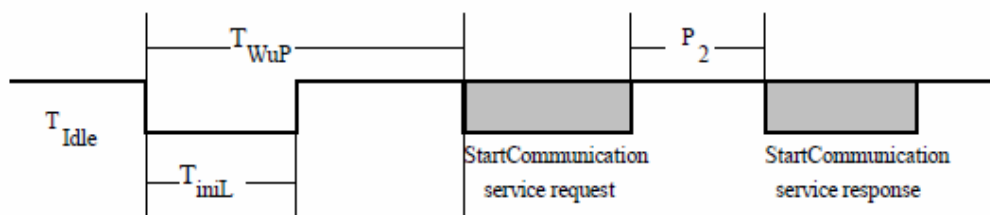


Figura 36: Cronograma de la inicialització ràpida de KP2000

Un cop establerta la comunicació ja podem fer consultes a la ECU. Aquestes consultes que fem via UART però, s'han de fer amb un retard intra-caràcter determinat, segons la especificació del protocol.

El mòdul anomenat "Ecu" abstreu tota aquesta funcionalitat i detalls d'implementació del mòdul "EcuFeedback". Aquest últim mòdul, és el que disposa d'una tasca que s'encarrega de fer el polling a la centralleta per a obtenir les revolucions per minut i el grau d'obertura del gas.

D'aquest mostreig, analitzem les dades amb la metodologia esmentada en la documentació funcional, i fem que el LCD faci pampallugues. Aquest comportament l'hem aconseguit amb un temporitzador per software, que és una de les utilitats de FreeRTOS. S'ha triat aquest mètode perquè la implementació de FreeRTOS és molt bona: l'ús de temporitzadors per software no suposa cap temps d'execució extra, tret de quan salta el disparador i s'ha d'executar la tasca, és clar.

5 Viabilitat tècnica

Per a que el projecte sigui viable, és necessari un hardware capaç de detectar objectes i la distància a que es troben. Aquesta és una necessitat que com ja hem vist a hores d'ara podem cobrir amb un dispositiu radar per ultrasons. Són molt precisos amb resolucions de pocs centímetres, i l'àrea que cobreixen sol tenir forma de globus, amb el que podem cobrir una àrea suficientment extensa. On no destaquen però, és en la freqüència de mostreig. Els més ràpids són de 20 Hz, i quanta més distància han de cobrir més baixa. El model que finalment hem escollit té un mostreig de 16Hz, que aproximadament és una mostra cada 60 milisegons. Pel que fa a la distància, cobreixen fins a 4,5m de distància, i un ample d'uns 2,5 metres. Si ho contrastem amb els requisits, veiem que supera els 3,75m que necessitem.

Els radars treballen a 5V, i per tant hem inclòs en el circuit d'alimentació una presa a aquest voltatge, de manera que no suposa cap problema. Per a connectar-lo al microcontrolador, necessitem dos pins GPIO per a cada radar, fent un total de 4. El LPC1769 ens n'ofereix fins a 70. Després, la manera en que podem rebre les comunicacions des del sonar, es mitjançant detecció de canvis en el nivell TTL en aquests dos pins, que són a 5V. Tot i que el microcontrolador treballa a 3,3V, és capaç de rebre senyals a 5V sense problema, facilitant la connexió dels dispositius.

Pel que fa al LCD, pot utilitzar diferents perifèrics per a rebre dades via sèrie. Hem optat per a utilitzar RS232 amb nivells TTL, que el podem utilitzar de manera fàcil junt amb un port UART de la placa. A més la comunicació és unidireccional. La placa ofereix 4 ports UART.

El repte però és que el LCD se situa a l'altre extrem del microcontrolador. Dos metres de cable els uneixen, i ha de passar per zones amb altes intensitats de corrent i pics de tensió causades pels alternadors i bobines de la motocicleta, que formen part del sistema elèctric i d'ignició respectivament. Hem comprovat però que un cable apantallat fa arribar els senyals digitals sense cap mena de problema.

Un dels punts febles és la tolerància als elements externs, més concretament l'aigua. Hem construït una caixa de plàstic per tal d'aïllar-lo, però no hem aconseguit una estanqueïtat suficient.

Més punts febles del sistema són la possibilitat d'interferències electromagnètiques, i restriccions d'espai on col·locar el microcontrolador, circuits integrats i el circuit d'alimentació. En el nostre cas concret, no ens hi hem vist afectats gràcies a mesures preventives. Però és ben possible que en un altre model de motocicleta, aquests problemes es manifestin i necessitin d'una altra opció.

Pel que fa a l'establiment de la comunicació amb la ECU, és un tema en principi força complicat, si més no per la poca familiaritat amb el funcionament d'aquestes, i una informació que sovint no és pública i depèn d'enginyeria inversa. Tot i això, hem tingut la sort de que el protocol utilitzat en la motocicleta objectiu del hardware està ben definit com un estàndard. El que sí no està documentat i queda fora de l'estàndard, és quin ha de ser el contingut dels missatges per a llegir els valors desitjats de la centraleta. En aquest sentit, hi ha una comunitat online anomenada "ECU hacking"²² amb informació molt valuosa.

6 Valoració econòmica

La realització d'aquest projecte ha comportat per una banda una despesa econòmica en materials, com podem veure en la Figura 377. Després tenim els costos que s'han generat en la utilització de recursos humans, és a dir en forma de salaris, dedicats a les tasques de recerca i desenvolupament. Com és habitual en aquest tipus de projectes, i podem observar en la Figura 388, el capital humà és molt més elevat que no pas el cost en materials.

Concepte	Quantitat	Preu € (IVA inclòs)	Total €
Regulador de voltatge a 3,3V	1	0,82	0,82
Controlador d'interfície E/S ISO 9141	1	1,35	1,35
Resistències 82 ohms	1	0,19	0,19
Resistències 140 ohms	2	0,19	0,38
Piles alcalines 9V	2	1,5	3
Placa de prototipatge	1	4,80	4,80
Connector de piles de 9V	1	1,20	1,20
40 Cables prototipatge femella-masclle	1	4,10	4,10
40 Cables de prototipatge femella-femella	1	4,10	4,10
10 Cables de prototipatge masclle-masclle	1	2,36	2,36

²² <http://ecuhacking.activeboard.com/>

Newhaven LCD Character display	1	23,18	23,18
Adaptador SOIC8 a DIP8	1	4,76	4,76
Caixa supertronic negre	1	2,13	2,13
Caixa miniatura	2	1,10	2,20
Caixa plàstic negre 154x76x44	1	3,89	3,89
Goma passacables 9mm	1	0,10	0,10
Goma passacables 13mm	2	0,40	0,80
Separadors de plàstic	4	0,12	0,48
Placa de topos de fibra de vidre 78x90	1	2,67	2,67
Blister connexió 6 vies	1	3,52	3,52
Base d'alimentació	1	0,89	0,89
Cable apantallat de 6 vies(metres)	2	3,00	6,00
Alicates de crimpar	1	11,00	11,00
Set de cables de colors 0,5mm ²	1	1,43	1,43
Condensadors ceràmics 100 nF	5	0,11	0,55
Commutador unipolar	1	0,73	0,73
Portafusibles	1	0,51	0,51
10 fusibles 500 mA	1	1,21	1,21
Condensadors ceràmics 330 nF	5	0,11	0,55
Díode ràpid de silici 1A	1	0,13	0,13
10 bases per a brides	1	0,97	0,97
100 brides 140x3.6	1	1,56	1,56
LPC1769	1	21,84	21,84
Wifly RN171-XV	1	37,96	37,96
Lloguer de material: ordinadors, equips de soldadura, eines manuals... (dies)	60	4	240
		Total	391,36

Figura 37: Taula de costos dels materials

Concepte	Quantitat (hores)	Preu € (IVA inclòs)	Total €
Tasques d'investigació i recerca	70	35	2450
Desenvolupament del programari	90	35	3150
Disseny i producció del hardware	20	35	700
		Total	6300

Figura 38: Taula de costos de desenvolupament

El **cost total** del desenvolupament del prototip doncs, és de $6300 + 391,36 = 6691,36€$

7 Conclusions

En aquest capítol analitzarem com ha quedat la consecució dels objectius una vegada finalitzat el treball, farem una petita valoració personal de l'experiència,

7.1 Coses apreses

Per a la realització d'aquest treball s'han hagut de tocar moltes àrees. En aquest aspecte doncs és força adequat com a element final de la carrera. Hem fet la gestió del projecte, aprenent a delimitar l'abast del projecte, i controlar els recursos destinats, tant econòmics com temporals. A més hem pogut garantir l'assoliment dels objectius marcats, gràcies al pla de treball, que ens ha marcat la ruta a seguir i és un gran indicador de quan la planificació es desvia.

En l'aspecte de sistemes, a nivell personal m'ha servit com a introducció al món dels sistemes encastats, que sempre m'ha interessat molt però per un motiu o altre no havia explorat. És interessant veure com el disseny de sistemes en temps real necessita establir unes prioritats molt clares per al correcte funcionament. I també la facilitat amb que es pot veure l'impacte que té el disseny algorítmic realitzat, que tot sovint en ordinadors potents no es fa evident.

Així doncs combinar-ho tot en un sol projecte ha estat molt enriquidor.

7.2 Autoavaluació

Un cop finalitzat el treball, ens trobem en la posició de repassar els objectius que ens havíem plantejat. S'han pogut assolir tots els plantejats:

Objectius primaris

1. Prendre mesures des del sonar: aconseguit.
2. Analitzar l'entrada dels sonars per a determinar riscos de col·lisió: aconseguit.
3. Preparar un sistema de feedback, mitjançant retroil·luminació RGB del LCD: aconseguit.

Objectius secundaris

1. Establir un enllaç de comunicació amb la ECU: aconseguit.
2. Calcular un índex de consum de gasolina instantani: aconseguit, amb peròs.
3. Mostrar feedback de la ECU pel LCD: aconseguit.

Objectius extraordinaris

1. Calcular i indicar el punt òptim per a canviar de marxa: aconseguit.

Hi tenim una mica de controvèrsia però amb el punt 2 dels objectius secundaris: “Calcular un índex de consum de gasolina instantani.”. Per una banda es vol deixar clar que no ha estat possible construir un índex fiable, degut a que necessitem una informació que no és disponible. Però també és cert que en la realització del treball hem après a interpretar de millor manera com és una conducció eficient, i hem aconseguit mostrar pel LCD les millors dades de que disposem per a avaluar si estem fent un consum elevat o no. Donades les circumstàncies em sembla el millor compromís possible.

També concedeixo que el prototip produït permet encara moltes millores, sobretot de cara a l’entrega del feedback al conductor, però tot i així estic satisfet de la seva utilitat.

Pel que fa al seguiment de la planificació, tot i que alguna vegada pel fet de estar gaudint d’una tasca en concreta, ens hem deixat endur i deixat la planificació una mica de banda, s’ha fet un bon seguiment. Sí que hi ha una tasca que s’ha sortit força de la planificació, que és l’adaptació del hardware a la moto, però considero que amb la informació disponible en aquell moment va ser una planificació acceptable. Sens dubte ens haguéssim beneficiat però d’una planificació més conservadora, assignant més dies a aquelles tasques desconegudes, i desenvolupant-les en paral·lel de bon principi.

7.3 Línies de treball futur

Són força les línies de treball que per manca de temps no s’han pogut explorar, però d’idees i possibilitats n’hi ha moltes.

Una millora sobre el sistema actual, podria ser substituir el LCD per un d’alta resolució, que si poguéssim acompanyar de més entrades sensorials, representés un dibuix fidedigne de l’entorn 360° al voltant de la motocicleta.

També podríem aprofitar el fet de que molts motoristes utilitzen auriculars *bluetooth* integrats al casc, per a entregar les advertències de manera sonora, i amb la possibilitat de ser força més descriptives, o explotar la funcionalitat estèreo per a indicar a quin costat hi ha el perill.

Seguint sobre el tema de la seguretat activa, seria molt interessant incorporar al sistema d’alertes un LIDAR per a poder detectar situacions en que la distància de seguretat és massa baixa, tant per davant com per darrere.

L’ús d’un acceleròmetre també planteja possibilitats, entre elles, la detecció de l’angle d’inclinació de la moto. Podria generar un feedback merament informatiu, o un sistema d’alertes quan el grau d’inclinació sigui massa alt. Una altra possibilitat seria la detecció d’accidents,

mesurant si els valors sobrepassen els habituals que es generen sobre una moto (un màxim de 1.5G), i junt a uns mòduls GPS i GSM enviar alguna alerta a familiars amb la posició.

8 Glossari

ABS: *Anti-lock Braking System*. Sistema d'ajuda en la frenada que evita el lliscament descontrolat del vehicle degut al bloqueig de les rodes.

Bluetooth: Tecnologia de comunicació sense fils, que opera en la banda de freqüència dels 2,4 GHz.

CMSIS: *Cortex Microcontroller Software Interface Standard*. Una especificació creada originalment per ARM i els seus productes Cortex-M, que proveeix una interfície comú per a accedir a registres dels perifèrics.

DC: *Direct Current* o corrent continua.

ECS: *Electronic Stability Control*. Sistema d'ajuda en pèrdua de tracció, que aplica els frens en situacions de subviratge o sobreviratge.

ECU: *Engine Control Unit*. És la unitat de control electrònic que gestiona funcionalitats d'un motor.

Edge case: Situacions extremes, fent referència a la poca probabilitat que ocorrin, que sovint es passen per alt en l'etapa de disseny i/o implementació.

ETIS: Sigles del pla d'estudis Enginyeria Tècnica en Informàtica de Sistemes.

FPU: *Floating Point Unit*. Unitat de càlcul amb nombres decimals

FreeRTOS: Sistema operatiu en temps real, enfocat a sistemes encastats.

GPIO: *General Purpose Input and Output*. S'anomena així als pins disponibles d'un microcontrolador, que poden ser manipulats programàticament, fent-los doncs de propòsit general.

Half-duplex: Un canal de comunicació que disposa d'un únic bus tant per a enviar com rebre dades, per tant exigeix algun tipus de sincronització.

I²C: *Inter-Integrated Circuit*. És un bus de dades en sèrie per a comunicacions entre diferents circuits.

IoT: *Internet of Things*. És un concepte que fa referència a la connexió d'objectes a Internet.

Keyword Protocol 2000: Protocol de comunicacions emprat en els sistemes de diagnòstic de vehicles.

K-Line: És el nom que rep el bus de dades que s'utilitza tant per a rebre com enviar dades de la centraleta.

LCD: *Liquid Cristal Display*. Un tipus de pantalla que utilitza propietats de cristalls líquids per a modular la llum.

LIDAR: *Light Detection and Ranging*. És una tecnologia que permet mesurar distàncies emprant, generalment, un làser i el reflex d'aquest.

LPCOpen: un conjunt de llibreries amb drivers i middleware específics per a un o família de microcontroladors.

Protoboard: També coneguda com a *breadboard*, consisteix en una base de connexions per a prototipatge d'elements electrònics.

Pull-up: És una resistència situada entre una font de tensió i el conductor d'un senyal digital, per assegurar que hi viatja un nivell lògic correcte.

PWM: *Pulse Width Modulation*. S'emeten polsos de corrent de durada determinada, amb la finalitat d'aconseguir un comportament igual a que si empréssim un voltatge menor del realment utilitzat.

RGB: Sigles de *Red, Green, Blue*. Normalment s'utilitza per a referir-se a un model de generació de colors mitjançant la superposició d'aquest tres colors base.

Single-board microcontroller: Plaques de circuits impresos que incorporen tots els circuits necessaris per a tenir un sistema de hardware funcional, llest per programar-hi.

SPI: *Serial Peripheral Interface*. És un bus de dades en sèrie, amb funcionalitats de mestre-esclau per controlar l'accés al medi.

TCS: *Traction Control System*. Sistema d'ajuda en pèrdua de tracció per a les rodes motrius, quan la potència aplicada és inadequada per a la superfície.

TFC: Sigles de treball de fi de carrera.

Touring: Tipus de motocicleta destinada a fer rutes llargues o turisme, que prioritza la comoditat del conductor sobre altres aspectes.

Transductor: És un dispositiu que combina les funcionalitats d'emissor i receptor.

TTL: Sigles de *Transistor-Transistor Logic*, tot i que usualment fa referència a la utilització de voltatges d'entre 0V i 5V aproximadament.

UART: *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*. És una funcionalitat sovint present en forma de circuit integrat que permet la comunicació en sèrie entre perifèrics.

9 Bibliografia

LPCOpen Libraries and Examples

URL: <http://www.nxp.com/products/microcontrollers-and-processors/arm-processors/lpc-cortex-m-mcus/software-tools/lpcopen-libraries-and-examples:LPC-OPEN-LIBRARIES>

Data visita: 13/06/2016

CMSIS support in LPCXpresso IDE

URL: <https://community.nxp.com/message/630589>

Data visita: 13/06/2016

About FreeRTOS

URL: <http://www.freertos.org/RTOS.html>

Data visita: 13/06/2016

RN171XV-wireless modules

URL: <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/en560635>

Data visita: 13/06/2016

LPCXpresso Platform

URL: <https://www.lpcware.com/lpcxpresso>

Data visita: 13/06/2016

Transistor–transistor logic (TTL)

URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor%E2%80%93transistor_logic

Data visita: 13/06/2016

Digital signal

URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_signal#Logic_voltage_levels

Data visita: 13/06/2016

Universal asynchronous receiver/transmitter

URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver/transmitter

Data visita: 13/06/2016

Cortex-M4 MCUs with Cortex-M0 coprocessor

URL: <http://cache.nxp.com/documents/leaflet/75017486.pdf>

Data visita: 13/06/2016

Raspberry PI 3, specs & benchmarks

URL: <https://www.raspberrypi.org/magpi/raspberry-pi-3-specs-benchmarks/>

Data visita: 13/06/2016

Raspberry PI 3 model B

URL: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>

Data visita: 13/06/2016

Arduino ZERO (USA ONLY) & Genuino ZERO (OUTSIDE USA)

URL: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardZero>

Data visita: 13/06/2016

Hokuyo UTM-30LX-EW Scanning Laser Rangefinder

URL: <http://www.robotshop.com/en/hokuyo-utm-30lx-ew-laser-rangefinder.html>

Data visita: 13/06/2016

The GP2Y0A02YK

URL: <https://www.active-robots.com/fileuploader/download/download/?d=0&file=custom%2Fupload%2FFile-1315401576.pdf>

Data visita: 13/06/2016

Volvo Launches Blind Spot Information System (BLIS)

URL: <http://www.gizmag.com/go/2937/>

Data visita: 13/06/2016

How does the Blind Spot Information System (BLIS) w/ Cross Traffic Alert Work in My Volvo?

URL: <https://www.youtube.com/watch?v=yf2zEylFeKo>

Data visita: 13/06/2016

Five Annoying Safety Technologies

URL: <http://www.caranddriver.com/features/five-annoying-safety-technologies-heartbeat-detection-blind-spot-detection-and-lane-departure-warning-page-2>

Data visita: 13/06/2016

Honda Just Filed a Patent For Blind Spot Monitoring On Motorcycles

URL: <http://lanesplitter.jalopnik.com/honda-just-patented-blind-spot-monitoring-for-motorcycl-1768339089>

Data visita: 13/06/2016

Honda Patents Blind Spot Monitors For Motorcycles

URL: <http://blog.motorcycle.com/2016/03/31/manufacturers/honda/honda-patents-blind-spot-monitors-for-motorcycles/>

Data visita: 13/06/2016

Norma 3.1- IC Trazado, de la Instrucción de Carreteras.

URL: http://www.carreteros.org/normativa/trazado/pdfs/otros_pdf/3_1ic_2016.pdf (pag 79)

Data visita: 13/06/2016

Peripheral vision

URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Peripheral_vision

Data visita: 13/06/2016

Consumption calculation of vehicles using OBD data

URL: <https://www3.epa.gov/ttnchie1/conference/ei20/session8/aalessandrini.pdf>

Data visita: 13/06/2016

LPC176x/5x User manual

Edició: Rev. 3.1 — 2 d'abril de 2014

Autor: NXP Semiconductors

Keyword Protocol 2000 - Part 2: Data Link Layer

Edició: 16 de desembre de 1996

Autor: No disponible