

Capítol 2:

XARXES DE COMUNICACIÓ DEL VEHICLE

2.1.- La multiplexació

2.1.1.- Problemàtica del punt a punt

2.1.2.- Què és la multiplexació?

2.1.2.1.- Conceptes bàsics

2.1.2.1.1.- Sistemes a temps real

2.1.2.1.2.- Falles i Errors

2.1.2.2.- Classificació

2.1.2.3.- Característiques generals

2.1.2.4.- Característiques de xarxes de control a temps real

2.2.- Tipus de xarxes: evolució i estat actual

2.3.- Xarxes del vehicle (Exemple)

2.4.- El model OSI

2.5.- El bus CAN

2.5.1.- Orígens

2.5.2.- Introducció

2.5.3.- Característiques bàsiques

2.5.4.- Les capes del CAN

2.5.4.1.- Capa física

2.5.4.2.- Capa de transferència

2.5.4.2.1.- Arbitratge

2.5.4.2.2.- Tolerància de falles

2.5.4.2.3.- Detecció d'errors

2.5.4.2.4.- Format i estructura dels missatges

2.5.4.2.5.- Sincronització

2.5.4.3.- La capa objecte

2.5.4.4.- HLP (High Layer Protocols)

2.5.4.5.- Els controladors CAN

XARXES DE COMUNICACIÓ DEL VEHICLE

Al llarg d'aquest treball anem intuïnt la importància que té l'electrònica en els vehicles, podem trobar fàcilment centenars de sensors, actuadors i circuits de control a qualsevol vehicle. Tots aquests components necessiten rebre i enviar informació ja sigui a altres elements o a unitats de control. Des d'un bon principi es van buscar solucions pel que semblava que podia ser un dels principals handicaps en la incorporació de l'electrònica en el món de l'automoció, la interfície física de comunicació. Les connexions punt a punt entre els elements del sistema es van anar substituint progressivament per xarxes distribuïdes, aplicant tècniques de multiplexació.

El creixement que ha experimentat l'electrònica en el sector de l'automòbil i en conseqüència, l'aparició de necessitats de comunicació més complexes sembla que es mantindrà, la recerca en aquest camp és un tema que no pot passar per alt als fabricants, han d'estar evolucionant constantment, han d'ajustar tots els paràmetres per tal de fer un producte que sigui competitiu en un mercat realment difícil, el producte ha de complir amb les exigències de la legislació, així com les exigències dels compradors, que cada cop són més. Tota aquesta competitivitat dona lloc a molts models de cotxe i dintre d'un mateix model diferents nivells d'equipament, només hem de fer un cop d'ull a una revista d'automòbils per notar que molt d'aquest equipament és electrònic. Tota aquesta varietat ha de ser possible sense realitzar un disseny nou per cada vehicle, aquí hi tenen un paper important els sistemes de comunicació aplicats, que tenen suficient flexibilitat com perquè el producte sigui rentable.

Els protocols tenen i han tingut un paper cabdal en el desenvolupament tecnològic, en els seus inicis hi havia poc interès en desenvolupar sistemes comuns per a tot el sector, sovint les mateixes empreses que fabricaven el vehicle implementaven el sistema sense dependre de subministradors externs a l'empresa. Inevitablement els beneficis que podia produir una estandardització es van anar manifestant, van començar a crear-se comissions pel desenvolupament d'estàndards i aquestes van començar a donar fruits. La confiança en els nous estàndards va anar creixent la qual cosa va permetre una descentralització d'aquesta part de la producció, van aparèixer subministradors de diferents productes que podien ser integrats per formar un sistema. Aquesta arquitectura oberta va proporcionar una empenta més al mercat que emergia amb força, ja que, sense cap mena de dubte la competència entre

diferents subministradors és un excel·lent eina de selecció, molt beneficiosa tant pel consumidor final com per la innovació.

La gran presència de les xarxes de comunicació a l'interior dels vehicles i la gran varietat de funcions que realitzen, donen lloc a diverses necessitats en la comunicació (p.ex.: velocitat, seguretat...) que poden arribar a ser molt diferents. Pot ser que una única xarxa no sigui adequada, algunes funcions en poden necessitar una de millor, pitjor, o simplement diferent. No és difícil notar que l'ABS i un sistema d'àudio, o DVD, aniran per xarxes diferenciades, no és necessari un flux d'informació entre ells, l'ABS és un sistema de seguretat que necessita control a temps real per un bus que sigui fiable, ràpid, segur, i a prova de errors, mentre que els altres necessitarien una xarxa orientada a comunicació multimèdia amb una notable velocitat de transferència.

La variabilitat de necessitats de comunicació en funció de l'aplicació ha fet que sorgissin multitud de protocols i xarxes que tenen aplicacions específiques, que poden ser independents de la resta de xarxes o bé poden estar interconnectades, ja que pot ser necessari un flux d'informació entre elles.

Els primers beneficiats d'aquesta tecnologia de comunicacions i electrònica, en general, només eren els vehicles de gama alta, però gràcies als beneficis de l'estandardització, la reducció de costos, i a la gran acceptació dels semiconductors per part de la societat en general, aquestes tecnologies han arribat en major o menor grau a tota la gama de vehicles del mercat.

No cal oblidar que en part, sobretot quan parlem de l'electrònica aplicada al motor, aquesta revolució a estat en part forçada per la imposició de restriccions en matèria mediambiental per part del govern. Altres serveis com els d'entreteniment, confort, seguretat, a estat el comprador qui els ha exigit.

2.1.- La multiplexació

Mitjançant tècniques de multiplexació és possible la interconnexió de sensors, actuadors i unitats de control. Es tracta de compartir informació i recursos a través d'un bus.

2.1.1.- Problemàtica del punt a punt

A causa de l'increment de dispositius que s'havien d'interconnectar, el cablejat del vehicle resultava car i complicat d'instal·lar, la qual cosa frenava l'evolució del mercat, ja que el cost es disparava. L'augment de cablejat es traduïa en un augment de pes del vehicle, a tall d'exemple: al 1998 BMW canviant el cablejat de les portes per un bus va aconseguir reduir el pes en 15Kg. Imaginem, si un vehicle de gama alta que utilitza les últimes tecnologies de comunicacions incorpora uns 4km de cable, no cal fer cap càlcul per saber que si el cablejat fos punt a punt aquesta quantitat es multiplicaria. El pes és molt important, ja que té gran influència en la dinàmica del vehicle i en el consum, avui en dia el mercat i les restriccions del govern fan que sigui un paràmetre a tenir molt en compte.

Altres problemes associats a la gran quantitat de cablejat es podrien resumir en:

- La disminució d'espai en el vehicle.
- La dificultat en el muntatge i assemblament.
- El deteriorament dels cables.
- La poca flexibilitat del sistema, que per petits canvis o diferents models s'haurien de redissenyar per complet.
- Presència de sensors redundants, ja que la informació no es pot distribuir eficientment.
- Manca de fiabilitat i dificultat en el manteniment.
- Es redueix molt, el temps entre avaries del sistema.

L'alternativa a les connexions punt a punt la trobem en la multiplexació.

2.1.2.- Què és la multiplexació?

La multiplexació és simplement, la connexió d'un número de ECU's via un mitjà de comunicacions comú com cable de coure o fibra òptica. De manera semblant a les xarxes LAN (Local Area Network), que permeten l'ús de recursos compartits entre PC's i perifèrics, l'ús de la multiplexació en el vehicle permet un control distribuït, no cal que totes les funcions es concentrin sobre una mateixa unitat de control. Es pot compartir la informació entre diferents ECU's la qual cosa és molt beneficiosa. Podríem dir que, en una xarxa que connecta varies ECU's cadascuna pot tenir

funcions que pot realitzar autònomament i per d'altres funcions necessita cooperar amb altres unitats de control.

En la multiplexació s'utilitza comunicació en bus, la qual cosa redueix molt el cablejat i tots els inconvenients que comporta, que com hem vist són molts i de notable importància.

2.1.2.1.- Conceptes bàsics

2.1.2.1.1.- Sistemes a temps real

La definició de sistema a temps real és controvertida i no sembla haver-hi una resposta unànimement acceptada, però la podríem definir de la següent manera: "Un sistema a temps real és aquell en el que perquè les operacions computacionals siguin correctes no només es depèn de la lògica i implementació correcte del programa, sinó que també depèn del temps en el que l'operació en qüestió retorna el resultat. Si les restriccions de temps no són respectades llavors el sistema ha fallat."

Si el sistema no respecte les restriccions de temps i l'únic que hi ha és un decrement en el rendiment tenim un sistema a temps real no crític. En canvi, si les conseqüències poden causar danys a les persones, o a les propietats llavors tenim un sistema crític a temps real. Tenir un sistema crític a temps real significa tenir un sistema crític en seguretat.

Sistema crític en seguretat no serà mai 100% segur, però ha de ser suficientment segur per poder desenvolupar la tasca per a la qual s'ha concebut, si tenim un vehicle i no volem córrer cap risc l'únic que podem fer és deixar-lo al garatge, però com que està concebut per transportar-nos el dissenyadors s'han hagut d'esmerar perquè sigui segur i en cas de falla les conseqüències siguin mínimes.

2.1.2.1.2.-Falles i Errors

Una falla és un defecte en el sistema. Podem distingir entre dos tipus, aleatòria o sistemàtica. Una falla aleatòria és una falla aïllada del sistema mentre que una sistemàtica és repetitiva i pot ser a causa d'un mal disseny, mal ús, defecte greu en un component, i altres. Normalment quan fem referència a una falla ens referirem a una falla sistemàtica.

Una falla aleatòria provoca un error, i aquest error pot provocar un comportament incorrecte del sistema, els sistemes de gestió d'errors, i a un més alt nivell el control de flux tenen per funció deixar sense efectes aquestes falles.

Una falla aleatòria podria ser un error a l'enviar un bit i una falla sistemàtica un cable tallat.

Un error el podem interpretar com la conseqüència d'una falla, o bé la conseqüència d'un mal disseny, o d'una pertorbació exterior. Si aquest no es detecta o corregeix pot derivar en un comportament del sistema que no volem, per tant s'ha d'intentar que no n'hi hagin, i si n'hi ha, corregir-los o detectar-los perquè no tinguin cap efecte sobre el comportament del sistema.

2.1.2.2.- Classificació

Segons la SAE (Society of Automotive Engineers) podem classificar les xarxes del vehicle en 4 tipus, basant-nos en les seves velocitats de transmissió.

Classificació de la xarxa	Velocitat	Aplicació
Classe A	<10Kbit/s	•Aplicacions de baixa velocitat
Classe B	10-125Kbit/s	•Transferència d'informació general
Classe C	125Kbit/s-1Mbit/s	•Control a temps real
Classe D	>1Mbit/s	•Control molt crític a temps real •Aplicacions multimèdia

Classe A: La majoria de funcions requereixen tan sols UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) genèriques. Aquestes funcions no han estat estandarditzades, varien segons el propietari.

Classe B: En aquesta franja hi trobem uns busos definits entre els quals podem destacar el SAE J1850 utilitzat a USA i el ISO-9141 (Europa), cal destacar que aquests són els utilitzats per les eines de diagnòstic, algunes d'elles com l'OBD-II estan orientades a complir la legislació mediambiental. Últimament en aquesta classe el LIN (Local Intranet Network) està cobrant molta importància com a sub-bus.

Classe C: El bus predominant en aquesta categoria és el CAN 2.0. El protocol CAN (Controller Area Network) s'utilitza en la majoria d'aplicacions a temps real, tot i que pot arribar a 1Mbit/s no sol passar de 500Kbit/s, si es sobrepassen, els cables s'han

d'apantallar. A causa de la importància del protocol CAN en el món de l'automoció i a la maduresa que ha adquirit tractarem especialment el seu funcionament en l'apartat 2.5. El CAN també ha tingut una bona acceptació per part de la indústria, com a bus de camp.

Classe D: La SAE no ha definit els estàndards que anirien inclosos en aquesta divisió però hi podem contemplar xarxes d'alta velocitat orientades a aplicacions multimèdia, cada vegada més comunes, així com les destinades al control crític a temps real. Degut a la tendència que hi ha a suprimir les connexions mecàniques i substituir-les per sistemes electrònics (X-by-Wire) es necessiten cada cop xarxes més ràpides i fiables, les xarxes incloses en aquesta classe cobraran cada vegada més importància.

2.1.2.3.- Característiques generals

Les xarxes que es dissenyen per funcionar en vehicles funcionen en unes condicions ambientals que poden ser molt adverses: temperatures extremes, vibracions, camps electromagnètics, etc.. Tots aquests factors s'han de tenir en compte a l'hora d'implementar el sistema, també s'han de tenir altres consideracions que resumim a continuació:

- Alta integritat: La integritat de la informació ha de ser molt alta, la probabilitat que hi hagi un error ha de ser negligible considerant tota la vida útil que pot tenir el vehicle.
- Determinisme: Poder preveure el funcionament de la xarxa.
- Compatibilitat electromagnètica: S'han de complir els nivells tolerats, tan per emissions com per absorcions els nivells han de ser els adequats.
- Mínim cablejat: El cablejat ha de ser mínim ja que la quantitat de cablejat és directament proporcional a la possibilitat que hi hagi una falla.
- Connectors compactes: En un mòdul de control sovint el connector és la part més gran, interessa que sigui el mínim possible.
- Baix cost: Com sempre el tema econòmic no es pot oblidar, ja que és el motor de tota indústria.
- Flexibilitat: Per tal que variacions entre models i l'afegiment d'algun accessori pugui ser fàcil, hem de comptar amb un sistema que necessiti pocs ajustos al fer-hi modificacions.
- Tolerància de defectes: El sistema ha de ser capaç de gestionar possibles defectes i recuperar la comunicació normalment quan aquests s'han arreglat.

2.1.2.4.- Característiques de xarxes de control a temps real

Els sistemes de comunicació que s'utilitzen per transferir la informació destinada a dur a terme el control del vehicle podríem dir que estan classificats en els grups C i D segons el SAE. En aquestes xarxes a part de les característiques generals que hem comentat, caldria que es remarquessin els següents aspectes:

- Dimensionar la xarxa considerant les pitjors condicions possibles de tràfic d'informació, incloent la informació de diagnòstic.
- Prioritats per a cada missatge.
- Una distribució lògica dels nodes i de la xarxa.
- Capacitat d'expansió per abraçar les diferents variants (models) del vehicle.
- Probabilitat d'error, els efectes que pot tenir en la comunicació i retards que pot produir.
- Anàlisi de efectes que pot tenir un defecte del sistema.
- Contemplar l'efecte de la longitud de les línies.
- Comportament del sistema de tolerància de falles i possible redundància per deixar sense efectes el defecte d'algun component
- Distribució òptima de ponts (bridges) i passareles (gateways).

Bridges (ponts): Són dispositius que uneixen xarxes actuant sobre els protocols de baix nivell, concretament sobre el nivell de l'enllaç de dades (veure arquitectura OSI apartat 2.4), aquest pot disminuir el tràfic de la xarxa deixant passar només el tràfic que va dirigit a l'altre xarxa.

Gateways (passareles): Són dispositius que permeten interconnectar xarxes amb protocols i arquitectures totalment diferents. La traducció disminueix la velocitat de transmissió. Un exemple d'aplicació de les passareles és la diagnosi del vehicle, podem connectar un equip de diagnosi que es comunica amb el vehicle utilitzant el protocol ISO-9141 i aquest comunicarà amb la xarxa del vehicle independentment del protocol de comunicació que utilitza.

El bus que domina en aquest sector, el de les xarxes de control, és sobretot el protocol CAN.

2.2.- Tipus de xarxes: evolució i estat actual

A la següent figura podem observar les principals xarxes que s'han presentat en els últims 25 anys:

Any		80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
Tipus																					
Punt a punt	elèctrics	<ul style="list-style-type: none"> •GM CADILLAC (body control module) •Toyota SOARER (electric multi vision) 																			
	Òptics	<ul style="list-style-type: none"> •Nissan Cedric (Remote control) •Nissan LEOPARD (steering switch) •Mitsubishi DEVONAIR (remote control) •Toyota CROWN (CD-ROM) •Toyota MARK II (door multiplexing) 																			
Xarxa centralitzada	elèctrics	<ul style="list-style-type: none"> •Mazda i Mitshubishi Electric (SWS) •Salplex •UTA (4-core shielded system) •GM BUICK RIVIERA (CTR display) •GM ALLANTE (GMUX) •Nissan Cedric (door switch system) •Nissan (diagnostic data link protocol) •Toyota CROWN (electro multi vision) •Alfa Romeo (DAN) •Daihatsu •General Instrument (AUTOLAN) •Salplex (Series 4000 CLASS A) 																			
	Òptics	<ul style="list-style-type: none"> •GM (door seat system) •Motorola (moto-car) •Toyota Century (door optical system) •Hitachi (single fibre bidirectional communication) •Codonoll Technollogy Corp. (star coupler system) •Delphi, Network vehicle (MML) 																			
Xarxa distribuïda	elèctrics	<ul style="list-style-type: none"> •National Semiconductor (body load multiplexing) •Philips & Signetics (D2B twisted pair) •Bosch (CAN) •Ford (VNP) •Chrysler(CCD) •Chrysler NEW YORKER (CCD) •Volkswagen (ABUB) •Renault & PSA (VAN) •GM (DLCS) •Yazaki •SAE (J1850) •Mazda Furukawa(adv.PALMNET) •Mazda COSMO (PALMNET) •Mazda Furukawa (PALMNET) •Furukawa (high reliability physical layer) •University of Vienna (TTP) •Chrysler Lhcar (CCD) •Ford (ACP) •Toyota(BEAN) •Toyota CROWN (I-Four) •Toyota (Token bus) •Mitsubishi (MICS) •Philips (PLANET) •SAE (J1939) •Mercedes 600SEL (CAN) 																			
	Òptics	<ul style="list-style-type: none"> •Lucas (star coupler system) •Furukawa (TOM: total optical multiplexing) •C&C electronics, Becker (D2B optical) •BMW, Motorola (SI) •GM(tokenbus) •Most Co-operative (MOST) 																			

Només cal donar un cop d'ull a la figura anterior per veure que en aquesta guerra de xarxes les grans guanyadores són les distribuïdes, ja sabem els avantatges de una minimització del cablejat. Des que va aparèixer el CAN s'ha anat estenent i avui en dia es la xarxa més estesa, la tractarem més a fons en l'apartat 2.5. A continuació descriurem els protocols que tenen a curt i mitjà termini més possibilitats



de dominar el mercat, alguns d'ells encara estan en desenvolupament, per això no apareixen en la figura anterior.

Domestic Data Bus (D2B): El van desenvolupar C&C Electronics, aquest va ser dissenyat per comunicacions d'àudio i vídeo, per perifèrics informàtics i per aplicacions multimèdia per a l'automòbil. Mercedes en alguns models utilitza el D2B per l'equip d'àudio, la connexió del GPS, el telèfon i sistema de reconeixement de veu.

Bluetooth: Aquest és un protocol de comunicació per radio, de baix cost i curt abast. Els dispositius que tenen incorporats el sistema Bluetooth es poden comunicar fàcilment i sense connexions físiques. L'ús pot ser en sistemes multimèdia (DVD,CD,àudio,PDA's), comunicacions, equipament de diagnòstic etc..

Mobile Media Link (MML): Aquest sistema va ser creat per Delphi. Està dissenyat per ser el suport de les aplicacions multimèdia del vehicle, aquest facilita l'intercanvi d'informació entre equips d'àudio-video, amplificadors, pantalles, etc...

Media-oriented systems transport (MOST): Les aplicacions del MOST inclouen les aplicacions multimèdia dels vehicles i les comunicacions entre computadors. El protocol va ser desenvolupat per molts fabricants d'automòbils i altres associats sota el nom de MOST Cooperative, tot aquest suport i el grau de desenvolupament assolit el fan candidat a dominar les comunicacions multimèdia.

Local interconnect network (LIN). És un time-triggered protocol mestre-esclau, aquest és molt útil com a sub-bus a l'hora de realitzar el control de retrovisors, seients, tancament de portes,etc... És una xarxa de baixa velocitat derivada del ISO-9141 (utilitzat en la comunicació del sistema de diagnòstic). El LIN normalment es connecta amb xarxes jeràrquicament superiors i de més alta velocitat. El fet que a les parts més accessibles des de l'exterior (retrovisors, portes,..) hi hagi aquesta xarxa mestre-esclau incrementa la seguretat davant intrusos que vulguin accedir al control de la xarxa.

Time-triggered protocol (TTP): Es va dissenyar per a sistemes crítics de control distribuït a temps real amb tolerància de falles. Aquest protocol es va proposar per controlar sistemes com la direcció i la frenada sobretot en aplicacions futures com és l'X-by-Wire. Alguns conceptes del TTP provenen de solucions adoptades en l'aviació tot i que s'han hagut de modificar per reduir els costos. Respecte el CAN millora molts aspectes, el TTP és un protocol molt apte per control crític a temps real, com a

aspectes més generals podem destacar que l'accés al medi es realitza per divisió en el temps TDMA (Time Division Multiple Acces), tots el nodes funcionen amb una mateixa escala de temps i cadascun té assignat un finestra en el temps, on se li permet l'accés a la xarxa. La capa física la formen dues línies de comunicació que milloren, entre d'altres, la detecció d'errors i la gestió del sistema de falles. El TTP sembla que per les seves qualitats pot ser juntament amb el FlexRay, que veurem a continuació, un dels protocols de referència en el futur.

Byteflight: És un protocol pel control de sistemes de seguretat principalment. Encara que el seu disseny no es va fer pensant en les aplicacions X-by-Wire el desenvolupament més avançat d'aquest sistema dóna lloc al FlexRay que és un punt de referència per a la tecnologia X-by-Wire.

FlexRay: És un protocol que es desenvolupa pensant especialment en les aplicacions X-by-Wire, és un time-triggered protocol amb unes característiques que el fan apte per control del xassís i del motor. FlexRay al igual que el TTP realitza l'accés al medi a través de divisió en el temps

Time-triggered CAN (TTCAN): La comunicació en el CAN és accionada per events (event-triggered), en aquest sistema pot haver-hi pics de càrrega quan es volen transmetre varis missatges a l'hora. El protocol TTCAN és una extensió del CAN, els canvis que hi ha són l'adhesió d'eines de configuració temporal, ja que l'accés al medi dels nodes es fa per divisió en el temps (TDMA). TTCAN no millora la velocitat del CAN però en millora aspectes que el fan més apte per sistemes crítics a temps real, però no pot competir amb els seus rivals.

Si analitzem com estan evolucionant els diferents protocols en podem treure varies conclusions; l'aparició de protocols accionats per temps i no per events, i les avantatges que comporta en el control crític a temps real fan preveure una forta evolució d'aquests en detriment de protocols ja "clàssics" com el CAN, VAN, i J1850. Les línies d'investigació de nous sistemes electromecànics (X-by-Wire) no es podran aplicar en un vehicle sense una xarxa de comunicació avançada, com el TTP o FlexRay, que poden ser els protocols dominants d'aquí uns anys. Molts d'aquests protocols al igual que va passar amb el CAN poden tenir un amplia acceptació per part de la indústria. El CAN en un principi concebut per a l'automoció, al llarg dels anys ha tingut èxit com a bus de camp en molts més sectors.



En el capítol 3, dedicat a les noves tecnologies tractarem més a fons els protocols TTP, FlexRay i TTCAN, que encara que avui en dia només tinguin algunes aplicacions concretes, sobretot en vehicles de gama alta i prototips, es preveu una evolució cap a aquests estàndards per aplicacions crítiques a temps real, que de ben segur seran molt importants. Tractarem aquestes xarxes en un capítol apart perquè estan fortament relacionades amb les noves tecnologies.

2.3.- Xarxes del vehicle (Exemple)

En la *figura 13* hi ha un exemple de la xarxa d'un vehicle relativament nou, un Volvo S80 de l'any 2000. Destaquem que hi ha dues xarxes diferenciades, un CAN a 250Kbit/s per a dur a terme les funcions de control a temps real, i un CAN a 125Kbit/s per les funcions de la carrosseria. Les dues xarxes CAN estan unides per mitjà d'un gateway, així hi pot haver flux d'informació. També gràcies a un gateway es pot accedir a la informació de diagnòstics. Els mòduls poden tenir diferents sub-bus mestre-esclau de més baixa velocitat, i concretament en el cas del mòdul de seguretat SRS segurament són de més alta velocitat.

- ABS-Antilock Braking System- Sistema de frenada.
- ECM-Engine Control Management- Unitat de control del motor.
- ETM-Electronic Transmission Management- Unitat de gestió de la transmissió.
- TCM-Throttle Control Management- Controla la potència del motor.
- CEM-Central Electronic Module (Gateway)- Aquest és el gateway que permet el flux d'informació entre els dos CAN, que van a diferent velocitat. També coordina les funcions de diagnòstic.
- DDM-Driver Door Module- Aquesta gestiona funcions com l'alçavidres, ajust de retrovisor, etc...
- PDM-Passenger Door Module- El mateix que l'anterior. Però dels passatgers.
- CCM- Climate Control Module- Controla la climatització.
- UEM-Upper Electronic Module- Controla els elements del sostre. P.ex.: llums.
- PSM-Power Seat Module- Controla l'ajust i calefacció dels seients.
- DIM-Driver Information Module- Controla el quadre d'instruments.
- SWM-Steering Wheel Module- Controla els diferents comandaments que estan prop del volant. Inclouent radio i climatitzador.
- PHM-Phone Module- Sistema de telèfon.
- AUM-Audio Module- Sistema d'àudio.

- SRS-Supplemental Restraint System- Sistema de seguretat. Controla Airbags i cinturons de seguretat.
- RTI- Road Traffic Information- Sistema de navegació.
- REM- Rear Electronics Module- Controla components com la calefacció del vidre.

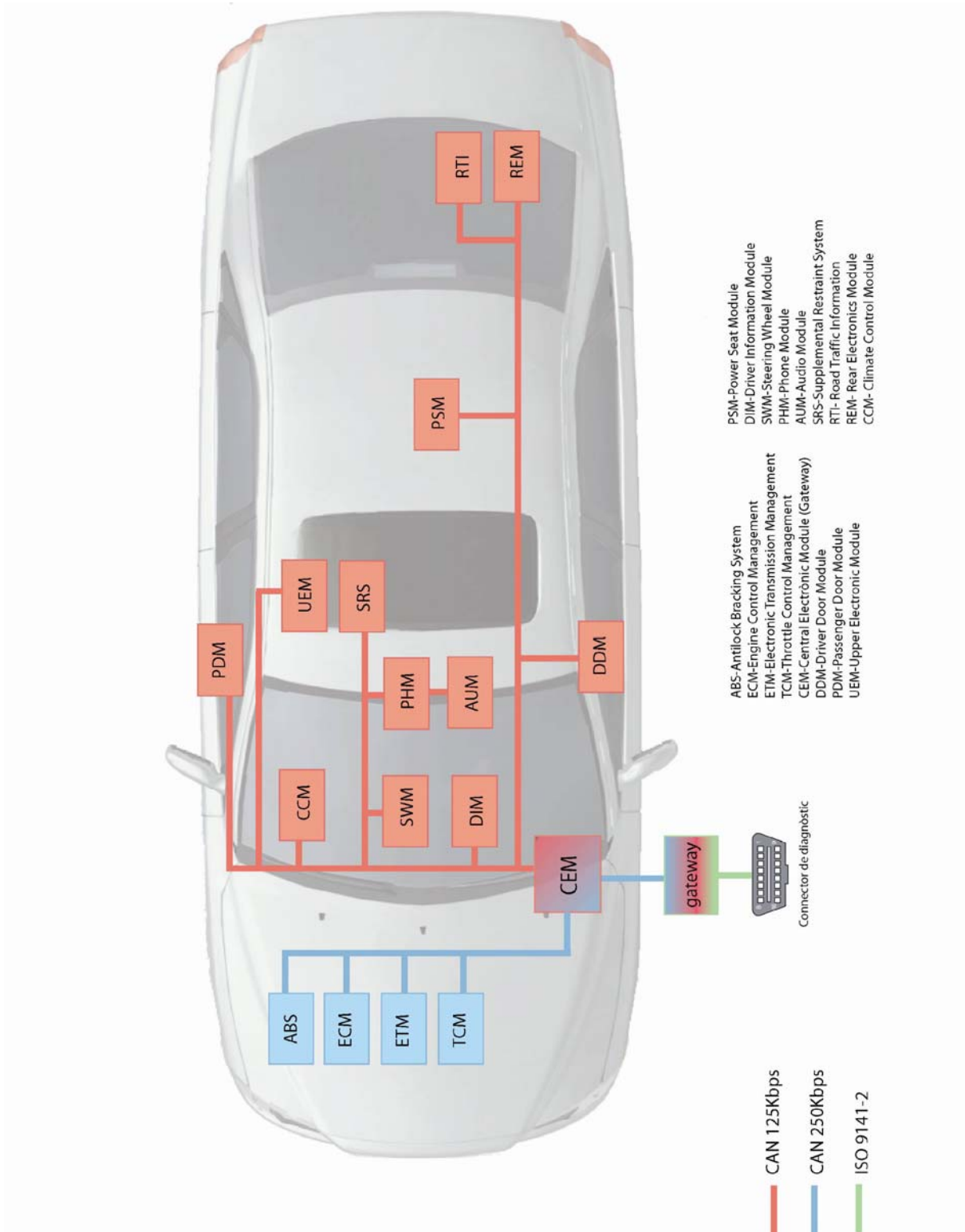


Figura 13

2.4.- El model OSI

L'arquitectura de protocols OSI "Open Systems Interconnection" ha estat clau a l'hora de descriure molts dels protocols de comunicacions que hi ha actualment. El model OSI és un punt de referència a l'hora de classificar les funcions que intervenen en la comunicació. Malgrat que l'arquitectura de protocols més madura i desenvolupada és el TCP/IP, aquesta encara no ha cuallat en les comunicacions a l'interior del vehicle, es preveu però que en un futur s'implementi, el que obriria un nou ventall en el control remot de vehicles, malgrat les grans avantatges del TCP/IP s'ha d'arribar a uns nivells de seguretat molt alts per poder-lo implementar, el futur dirà...

El model OSI serà d'ajuda a l'hora de comprendre millor el funcionament de protocols com el BUS CAN, ja que va ser una referència a l'hora de crear-lo.

El model OSI el va desenvolupar l'Organització Internacional de l'estandardització (ISO), es va presentar l'any 1984, com a l'arquitectura de referència a l'hora de comunicar computadors.

Segons OSI podem dividir la comunicació en 7 capes, a cadascuna de les quals se li poden atribuir una sèrie de funcions ben definides, vegem la *figura 14* en la qual podem observar quines són i com s'ordenen.

En essència la comunicació es produeix entre dues aplicacions A i B, que han d'intercanviar dades. Podem imaginar que la aplicació A envia unes dades, primer les dades van passant per les capes en sentit descendent i cadascuna afegeix informació addicional, que permetrà que les dades arribin a l'aplicació B. Un cop ha passat per totes les capes la informació es transmet a través d'algun medi i arriba al node B, la informació comença a passar per les capes en sentit ascendent, i cadascuna utilitza la informació que havia afegit la seva homologa en el node A per fer arribar la informació correctament a l'aplicació B. Així que cada capa utilitza serveis de la capa anterior i n'ofereix a la capa posterior.

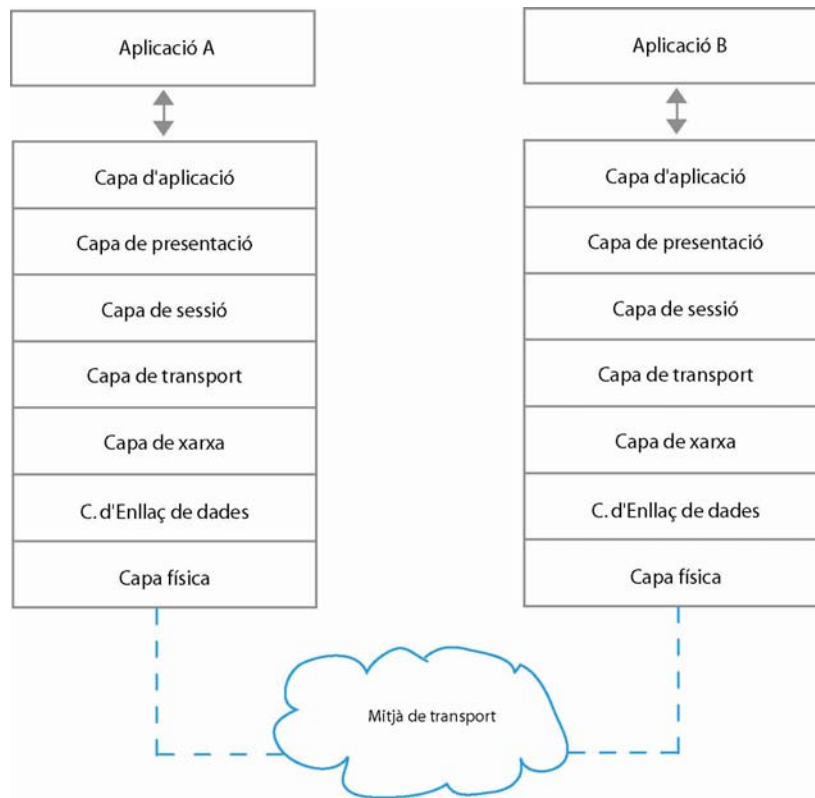


Figura 14

Veiem a continuació una breu descripció de la funcionalitat de cada capa:

- **Aplicació:** Serveis als quals té accés el programador de les aplicacions, a través de diferents punts d'accés segons el que requereixi l'aplicació.
- **Presentació:** Realitza les transformacions necessàries en la presentació de dades, canvis en el format de les dades, codificació, encriptació, desencriptació etc.. Per exemple: Intercanvi de l'ordre dels bits per processadors que utilitzen diferent sistema
- **Sessió:** Negociació i establiment de les connexions entre els diferents nodes. Proporciona una connexió estable.
- **Transport:** Proporciona seguretat en la transferència i transparència entre els nodes, també s'inclouen en aquesta capa els procediments de recuperació d'errors i el control de flux origen-destí. En general: divideix el flux de informació intercanviat pels paquets, transmet els paquets, espera els reconeixements de rebut de l'altre node, retransmet en cas d'error i ordena els paquets rebuts.
- **Xarxa:** Encaminament dels paquets entre nodes a través de xarxes més o menys complexes.



- Enllaç de dades: És l'encarregada de enviar blocs d'informació (trames), porta a terme la sincronització, el control d'errors i de flux necessaris. En general empaqueta les dades del usuari en trames de una longitud adequada incloent i extraient la informació extra necessària per al correcte direccionament i control d'errors. Controla l'accés ordenat al mitjà de transmissió.
- Física: Converteix cada bit lògic a la corresponent senyal física (nivell elèctric, llum, etc..) i viceversa.

Molts busos de camp s'ajusten al model reduït, en el que es defineixen sobretot les dues primeres capes (física, i d'enllaç), un altre protocol cobreix les parts de les altres capes que resulten necessàries. Aquest com veurem en el següent apartat és el cas del protocol CAN.

2.5.- El bus CAN

El CAN té gran importància en el món de l'automòbil, és el bus més utilitzat, cal afegir que tot i que en un principi es va concebre per a l'automòbil, al llarg dels anys s'ha adoptat com a bus de camp en la indústria. Per aquests motius i també per comprendre millor conceptes que han anat apareixent i apareixeran al llarg del treball sobre xarxes de comunicació (p.ex.: prioritats, tolerància de falles, etc..) , dedicarem aquest apartat a tractar amb més profunditat el CAN.

El fet de tractar més profundament el CAN té certs avantatges, sabem que ha tingut èxit, per tant estarem tractant els aspectes més importants de la comunicació en el vehicle.

2.5.1.- Orígens

La continua incorporació d'elements electrònics a l'automòbil i la necessitat de interconnexió entre ells van donar lloc a l'aparició de xarxes com el CAN. El primer vehicle que va incorporar CAN va ser el Mercedes classe S, l'any 1992.

CAN va ser proposat i desenvolupat per el fabricant alemany de components per a l'automòbil Robert Bosch GmbH juntament amb Intel. D'aquesta col·laboració en va néixer el primer CAN, que des de llavors s'ha anat modificant. Les especificacions de Bosch no determinaven una capa física concreta, posteriorment les van especificar la ISO 11898 per aplicacions de alta velocitat (fins 1Mbps), i la ISO 11519-2 per aplicacions de baixa velocitat.

2.5.2.- Introducció

El CAN és un protocol de comunicació sèrie que suporta el control distribuït a temps real amb alts nivells de seguretat. El CAN definit per alta velocitat es pot utilitzar per control a temps real del motor, sistemes de seguretat, etc.. mentre que el de baixa velocitat pot integrar altres serveis no crítics com l'alçavidres, llums interiors, climatització, etc..

EL CAN es divideix en les varies capes basant-se en el model OSI, vegem en la *figura 15* la correspondència entre les capes:

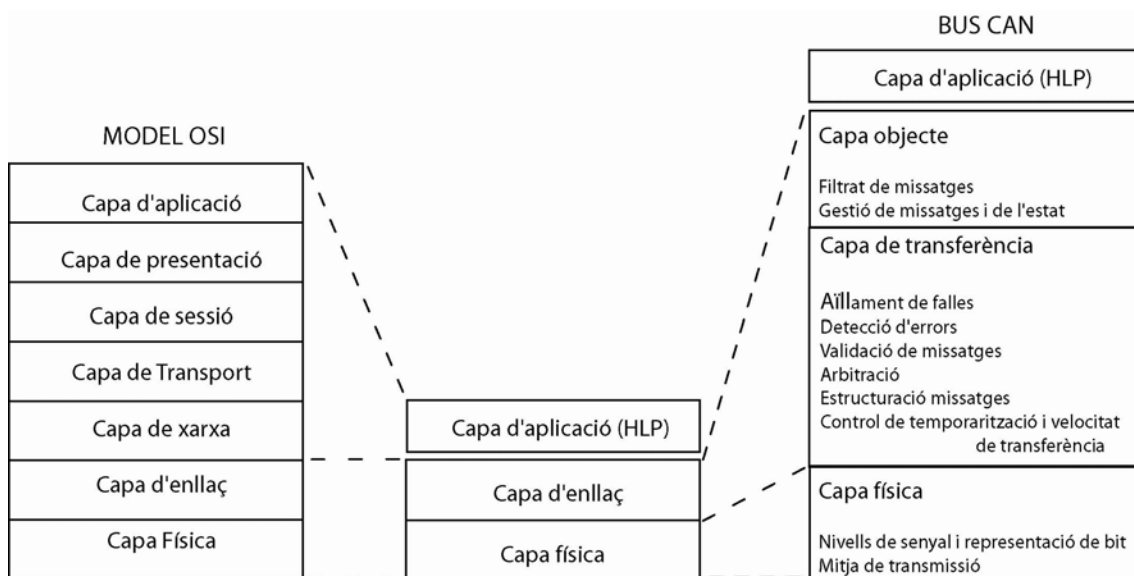


Figura 15

Les dues primeres capes del OSI s'implementen per hardware, mentre que les altres, de la 3 a la 7 s'implementen per mitjà de varies solucions de software en funció del tipus de aplicació i del tipus d'usuari, ho fan els HLP (Higher Layer Protocols= Protocols de les capes superiors).

2.5.3.- Característiques bàsiques

- La informació es transmet via dos cables (parell trenat), la informació té una allargada i una estructura determinades.
- Tots el nodes poden ser transmissors i receptors, la quantitat de nodes que hi ha és variable (dins uns límits).

- Un node pot sol·licitar una informació que necessita per mitjà de una “trama remota”.
- Els nodes CAN no tenen adreces la qual cosa dota al sistema de gran flexibilitat. Quan un node envia un missatge el reben totes les estacions i mitjançant un filtrat de missatges decidiran si la informació que conté el missatge els hi és útil o no, els missatges tenen un identificador que indica el significat del missatge així com la seva prioritat. D'aquesta manera pot ser que, per exemple, un node enviï informació sobre les RPM del motor i que hi hagi varis sistemes de control en nodes diferents que utilitzin la informació simultàniament (p.ex.: el motor i el quadre d'instruments).
- Si més d'un node comença a transmetre un missatge a la vegada només s'acabarà transmetent el que sigui més prioritari.
- Hi ha mecanismes que assegurin que es transmet la informació correctament, quan es detecta un error en un missatge aquest s'anul·la i es retransmet. Un node que presenta molts errors es pot desactivar automàticament, per no afectar negativament al sistema.
- Flexibilitat. Ja que les configuracions del mateix vehicle poden ser diferents segons el model i l'any en que es creen, interessen sistemes que tinguin una gran flexibilitat, el CAN permet que s'afegeixin nous components (p.ex.: diferents ECU's) i que no s'hagi de redissenyar tot el sistema, només cal connectar l'element i reprogramar part del sistema si així ho requereix. Cal dir que si el canvi fos molt important si que es requeririen canvis a nivell de hardware.
- Capacitat d'expansió: Es possible actualitzar i modificar el sistema sense necessitat de modificar el sistema original, si els nodes que s'instal·len només tenen necessitat de rebre. Aquesta propietat seria també causa de la flexibilitat del sistema, i prové del fet que els missatges no s'han de direccionar, simplement els nodes el reben, i es programen, si cal, per filtrar els que no es desitgin.

Per justificar les dues últimes característiques, només cal observar el gran ventall d'accessoris que es poden escollir quan compres un vehicle, o fins i tot a posteriori. Molts extres són de tipus electrònic i no serien rentables ni pel venedor ni pel client si la xarxa no fos flexible.

2.5.4.- Les capes del CAN

Comentarem els aspectes mes rellevants en el funcionament de les diferents capes en que podem dividir el CAN.

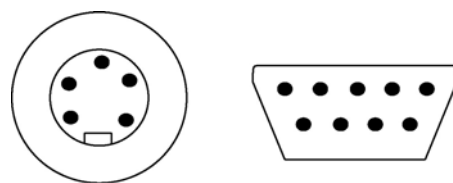
2.5.4.1.- Capa física

És la responsable de la transferència de bits entre els diferents nodes de la xarxa. Defineix aspectes com nivells de senyal, tipus de cable, tipus de connector.

Com hem comentat la capa física l'especifica la norma ISO-11898 i ISO-11519-2. La especificació no va inclosa en la CAN perquè els dissenyadors van voler dotar els sistema d'una certa flexibilitat, que tingués una capa física o un altre en funció de l'aplicació i així optimitzar el sistema. El mètode de senyalització és asíncron NRZ (non return to zero) amb "bit stuffing" emplenament de bits, s'intercala un bit oposat si apareixen 5 bits iguals consecutius per tal de no perdre el sincronisme. Els bits es senyalen mitjançant dos nivells de tensió diferenciats. El bit '0' és el dominant, i el recessiu és l'1'. Segons l'ISO 11898 el bit dominant és aquell en que la tensió diferencial entre V_{CAN_H} i V_{CAN_L} supera els +0.9V i un bit recessiu quan la diferència és inferior a 0.5V. Les tensions nominals en estat dominant són 3.5V per V_{CAN_H} i 1.5 per V_{CAN_L} respecte la massa de referència, en estat recessiu són de 2.5V en ambdues línies.

En els bus CAN normalitzats els connectors utilitzats normalment són el subD-9 i el Mini de 5 patilles.

Figura 16



Longituds de cable màximes (típiques)	
1Mbps	40m
500Kbps	100m
250Kbps	200m
125Kbps	500m
10Kbps	6Km

2.5.4.2.- Capa de transferència

Aquesta capa és el mòdul central del CAN. És la responsable de l'arbitratge, aïllament de falles, detecció d'errors, validació ,estructuració del missatge i del control de la transferència.

2.5.4.2.1.- Arbitratge

La tècnica d'accés al medi del CAN es denomina CSMA/CD+CR (Carrier Sense, Multiple Access/Colission Detection + Collision Resolution= Accés múltiple amb detecció de portadora, detecció de col·lisió més resolució de col·lisió). Si el bus no està ocupat qualsevol node el pot ocupar, en cas que dos iniciïn la transmissió de missatges a la vegada el sistema és capaç de resoldre el problema.

En ethernet per exemple s'utilitza la tècnica CSMA/CD davant la col·lisió de varies trames totes es perden ja que no té resolució de col·lisió, CAN resol la col·lisió amb la supervivència de una de les trames que colisionen. A més, la trama supervivent és la que té major prioritat.

La resolució de col·lisió és basa en la topologia elèctrica, el bit dominant té prioritat davant el bit recessiu. La *figura 17* il·lustra el funcionament d'aquesta tècnica, vegem que els missatges que queden són els més prioritaris, segons la codificació de l'identificador, com més baix sigui el valor més prioritat tindrà. L'identificador va a la capçalera de la trama per això del seu valor en depèn la prioritat.



Figura 17

2.5.4.2.2- Tolerància de falles

Els nodes CAN són capaços de distingir entre el que són errors puntuals i els errors permanents, poden actuar en conseqüència si cal, desactivant el node i deixant-lo inoperatiu.

Segons el sistema de aïllament de falles el node pot estar en 3 estats:

- “Error active”: Pot prendre part en la comunicació, si detecta un error envia un “Active error flag”. Un missatge error actiu té prioritat davant dels altres missatges (és una cadena de bits dominants).
- “Error passive”: Com en el cas anterior pot prendre part en la comunicació però si detecta un error envia un “Passive error flag”. Un error passiu esta format per bits recessius, no afecta als altres missatges que estiguin al bus.
- “Bus off”: En aquest cas el node no te accés al bus, està inoperatiu.

Cada node té dos comptadors d'errors un per a la transmissió i un per a la recepció. Aquest és un sistema de gestió, el qual fa incrementar o decrementar els comptadors segons si es dóna un error o no, també pot ponderar els errors fent incrementar més o menys els comptadors. Segons els valors dels comptadors es deixarà el node en un o altre dels tres estats possibles.

2.5.4.2.3.- Detecció d'errors

Els principals mètodes de detecció d'errors que hi ha són:

- Supervisar el nivell dels bits, el transmissor comprova que el què volia enviar i el què ha enviat siguin el mateix, llegeix el contingut del bus.
- CRC (Codi de Redundància Cíclica), cada missatge té un camp de CRC, quan un node rep el missatge recalcula el codi CRC del missatge i mira que sigui igual que el què portava.

- Bit stuffing. CAN utilitza el NRZ amb "bit stuffing" el qual proporciona una major eficiència en la detecció d'errors. Una trama d'error comença sempre per sis '1' o '0' consecutius. Aquest format no el pot tenir cap altre missatge, cada 5 bits iguals seguits el transmissor n'afegeix un d'extra de valor complementari als altres 5. O sigui que si en un missatge normal hi ha un error que encadena 6 bits iguals consecutius ell mateix serà d'indicador d'error.
- Comprovació de l'estructura del missatge. Cada node quan rep un missatge comprova que tingui l'estructura correcta, s'ha de correspondre amb la que diu l'especificació.
- Validació: Cada missatge conté un camp ACK on el receptor pot ficar-hi un bit dominant si tot a estat correcte, o un recessiu en cas contrari, si el receptor escriu un bit dominant aquest sobreescriurà el recessiu que havia posat el transmissor, d'aquesta manera el transmissor durant la supervisió del bus es dóna compte que el missatge ha estat rebut correctament.

La probabilitat de que hi hagi un error queda reduïda de la següent manera:

$$(\text{Probabilitat d'error}) \bullet 4.7 \times 10^{-11}$$

2.5.4.2.4.- Format i estructura dels missatges

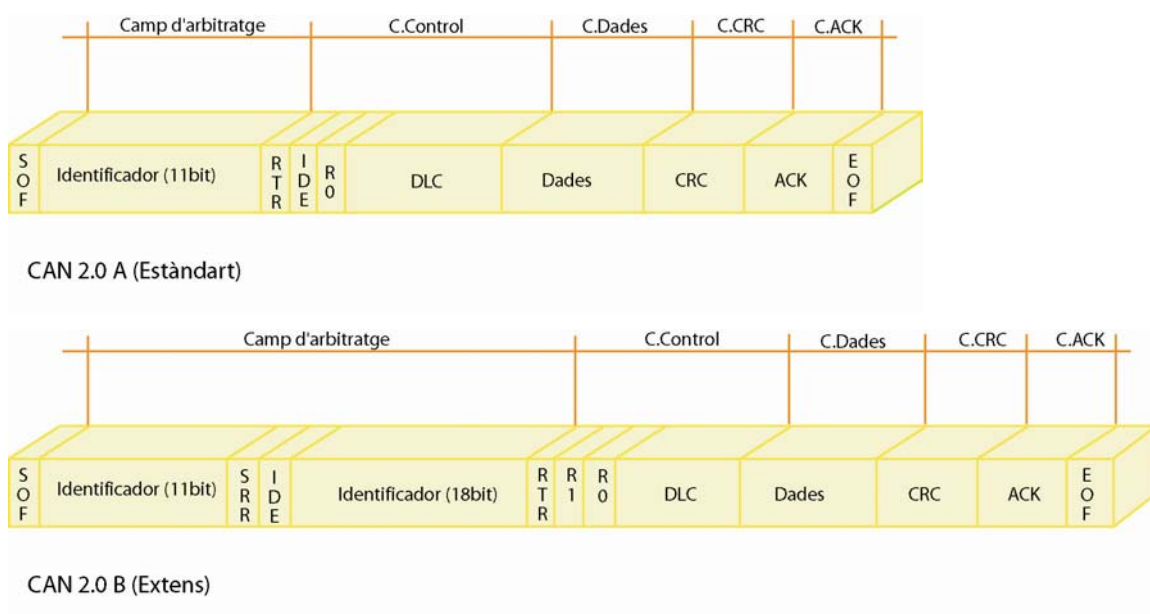


Figura 18

Aquest és el punt on es diferencien el CAN A (Estàndard) i el CAN B (Extens), l'identificador del primer és de 11bits i el segon de 29bits (a més també té dos bits addicionals; SRR i R1).

Podem distingir entre els següents tipus de trama:

Trama de dades: és la que un node utilitza per posar informació en el bus, pot tenir entre 0 i 8 bytes de dades.

Trama de interrogació remota (trama remota): pot ser utilitzada per un node per demanar la transmissió de una trama de dades amb una informació concreta, lògicament per mitjà del seu identificador. El node que disposi de la informació enviarà la trama de dades.

Trames d'error: utilitzades per senyalar a la resta de nodes la detecció d'un error.

Trama de sobrecàrrega: permet que un node forci als altres a allargar el temps entre transmissions de trames successives.

Espai inter-trames: les trames de dades (i remotes) es separen entre si per una seqüència predefinida que s'anomena espai inter-trama.

Bus en repòs: En els intervals de inactivitat es manté constantment el nivell recessiu del bus.

Format de la trama de dades:



Figura 19

- Inici de trama (SOF= Start of frame): L'inici de trama és un camp d'un sol bit sempre dominant que indica l'inici de la transmissió. Els nodes de recepció es sincronitzen amb el flanc de baixada d'aquest bit.
- Arbitratge: El camp d'identificació està format per l'identificador i el bit RTR (indica si una trama és remota). En el cas de el CAN extens també hi trobem el bit SRR aquest és recessiu. En el cas que colisionin un missatge en format extens i un missatge en format estàndard que tenen els primers 11 bits de l'identificador iguals, gràcies al bit SRR sempre tindrà preferència el format estàndard.
- Control: Informa sobre les característiques del camp de dades. El DLC (4bit) indica la longitud del camp de dades. Els bits, r0 i r1 (aquest en el format extens), estan reservats per necessitats futures. El bit IDE indica si és una trama estàndard o extensa (un '0' indica format estàndard), el bit IDE en el format extens forma part del camp d'arbitratge.
- Dades: Consisteix d'un màxim de 8bytes de dades, el MSB en primer lloc.
- CRC: Conté la seqüència CRC, seguida d'un delimitador (un bit recessiu). En total aquest camp és de 16 bits.
- ACK: Aquest camp està format per 2 bits, quan els envia el transmissor sempre son recessius, el receptor quan rep el missatge si fins el CRC ha estat tot correcte escriurà un bit dominant que sobreescrirà el bit recessiu escrit pel transmissor. D'aquesta manera el transmissor sap que si llegeix un bit dominant el missatge s'ha enviat bé.
- Final de trama (EOF= End of frame): Aquest delimita el final de trama i consisteix d'una seqüència de 7 bits recessius.

2.5.4.2.5.- Sincronització

Els senyals elèctrics que es transmeten pel bus CAN pateixen alteracions pròpies de la distorsió que es produeix per característiques físiques de la línia (resistència, capacitat i inductància), els retards de propagació i els produïts pels

mateixos controladors. També influeixen possibles fonts externes d'interferències electromagnètiques.

Cal afegir el fet que cada controlador, normalment, té un oscil·lador propi, en conseqüència les possibles diferències entre les seves freqüències i la teòrica també cal compensar-les. Els controladors CAN segueixen un procés de mostreig i resincronització per tal de compensar o si més no minimitzar tots els efectes que poden tenir les alteracions que hem comentat.

4.4.3.- La capa objecte

En un controlador CAN poden haver-hi varis registres de recepció, es coneixen com a bústies, la CPU recull els missatges d'aquestes bústies. Segons aquesta característica podem distingir entre dues variants del CAN, el basic CAN i el full CAN

El bàsic conté molt poques bústies, per tal de seleccionar els missatges i només proporcionar a la CPU els missatges que realment interessin hi ha uns registres que contenen unes màscares que els filtren.

El full CAN té un ampli conjunt de bústies cada una de les quals pot estar programada per rebre un missatge concret, d'aquesta manera només es reben i es guarden en aquests registres els missatges d'interès.

Hi ha híbrids entre el bàsic i el full CAN, incorporen bústies que només accepten un missatge concret i bústies que filtren els missatges.

4.4.4.- HLP (High Layer Protocols)

L'especificació del CAN i les ISO-11898 ISO-11519 defineixen la capa física i el nivell més baix de comunicació segons el model OSI. Podem dir que especifiquen com transportar petits paquets de dades d'un node 'A' a un altre node 'B', que tenen un medi de comunicació compartit. No conté especificacions sobre el control de flux, transport de dades de més de 8bytes (quantitat màx. de dades en una trama del CAN), establiment de comunicació, i altres serveis que són necessaris.

S'anomenen HLP (Higher Layer Protocols) fent referència al model OSI, i són aquells protocols que incorporen els serveis necessaris de les capes superiors de l'OSI. De HLP n'hi ha molts, d'aquests la majoria són força específics, destinats a aplicacions concretes. De HLP se'n poden comptar més de 40 per al CAN i a més, també hi ha la possibilitat de fer-te'l a mida.

Alguns HLP importants en el món dels vehicles i la indústria són els següents:

- OSEK/VDX: Creat expressament per a ser aplicat en sistemes de comunicació distribuïts en els automòbils. Aquest es desenvolupa, entre altres, amb el suport de BMW, Volkswagen, Bosch, Opel, PSA, Renault.
- J1939: Desenvolupat per el SAE per a xarxes de comunicació en camions, autobusos, tractor, i altres vehicles especials.
- Devicenet: Principalment destinat a aplicacions industrials.
- CANopen: Aquest avarca molts camps sent útil en vehicles de transport, vehicles marítims, sistemes mèdics, control edificis, etc..
- CANKingdom: Orientat al control de màquines en general.

4.5.- Els controladors CAN

Els controladors pel bus CAN estan disponibles en diferents variants:

- Controladors independents, connectables a qualsevol CPU.
- Controladors integrats en un microcontrolador.
- Models VHDL implementables sobre dispositius de lògica programable.

Els controladors integrats en un microcontrolador són els que més estan evolucionant i estenent-se, un dels principals factors n'és el baix cost. La varietat de controladors bastats en microcontroladors és molt extensa.