
Sistemes telemàtics aplicats als sistemes de transport intel·ligent

PID_00267736

Unai Hernández Jayo

Temps mínim de dedicació recomanat: 3 hores



Unai Hernández Jayo

L'encàrrec i la creació d'aquest recurs d'aprenentatge UOC han estat coordinats pel professor: José Antonio Morán Moreno (2019)

Primera edició: setembre 2019
© Unai Hernández Jayo
Tots els drets reservats
© d'aquesta edició, FUOC, 2019
Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona
Realització editorial: FUOC

Cap part d'aquesta publicació, incloent-hi el disseny general i la coberta, no pot ser copiada, reproduïda, emmagatzemada o transmesa de cap manera ni per cap mitjà, tant si és elèctric com químic, mecànic, òptic, de gravació, de fotocòpia o per altres mètodes, sense l'autorització prèvia per escrit dels titulars dels drets.

Índex

Introducció.....	5
Objectius.....	6
1. Tecnologies sense fil en sistemes de transport intel·ligent.....	7
1.1. Sistemes de comunicacions a l'interior dels vehicles	8
1.1.1. Sistemes de comunicacions cablejats	9
1.1.2. Sistemes de comunicacions sense fil	10
1.2. Sistemes de comunicacions a l'exterior dels vehicles	13
1.2.1. Sistemes tradicionals de comunicacions	13
1.2.2. Xarxes VANET	16
1.2.3. Xarxes WLAN	16
1.2.4. DSRC i WAVE	18
1.2.5. Comunicacions cel·lulars C-V2X	22
1.2.6. Breu comparativa entre IEEE 802.11p i C-V2X	25
1.3. Sistemes de posicionament i de localització de vehicles (AVLS)	28
Bibliografia.....	31

Introducció

Desplegar un sistema de comunicacions en un entorn tan variable, a causa de la mobilitat dels seus nodes, com el del transport és una tasca complicada que requereix un treball previ de planificació molt important. En aquest context, les comunicacions sense fil es presenten com les tecnologies clau per a dur a terme aquest desplegament i aconseguir així els objectius que busquen satisfer els sistemes de transport intel·ligent. Assolir el potencial actual que atorga la comunicació i la computació ubiqua ha estat possible gràcies a ambiciosos programes d'investigació desenvolupats arreu del món, com per exemple la iniciativa europea eSafety, els programes nord-americans derivats de la Intelligent Vehicle Initiative i els programes japonesos InternetITS i Advanced Highway Systems (AHS).

L'àmbit dels sistemes de comunicacions sense fil aplicats al transport inclou àrees d'interès com ara les comunicacions mòbils, els sistemes de transport o els sistemes d'adquisició de dades del vehicle. A partir d'aquests components s'han desenvolupat una sèrie d'aplicacions i de sistemes com les comunicacions vehicle-vehicle (V2V), vehicle-infraestructura (V2I) i vehicle-persona (V2P), incloent-hi implicacions en l'eficiència del transport i de la seguretat, en l'electrònica dels vehicles, en els aspectes de responsabilitat civil o en els esforços en la realització d'estàndards i d'assignació d'espectres electromagnètics.

D'aquesta manera, en un entorn com el transport, en el qual hi ha nodes mòbils, com ara els automòbils, i nodes fixos en la infraestructura, les comunicacions sense fil es presenten com la tecnologia clau per a proporcionar els serveis i les aplicacions que incrementin la seguretat a la carretera i l'eficiència en el transport, objectius comuns de tots els STI. També repassarem les principals tecnologies sense fil que actualment s'empren en els STI i veurem quin paper tenen les arquitectures de referència dissenyades per a desplegar els serveis i les aplicacions.

Objectius

Els continguts d'aquest mòdul han de permetre als alumnes assolir els següents objectius:

- 1.** Distingir les diferents tecnologies de comunicacions sense fil que poden utilitzar-se en un escenari de sistemes de transport intel·ligent.
- 2.** Saber seleccionar i aplicar la tecnologia o el conjunt de tecnologies necessàries en cada situació sobre la base de requisits o de necessitats de l'aplicació, o conjunt d'aplicacions que cal desplegar.

1. Tecnologies sense fil en sistemes de transport intel·ligent

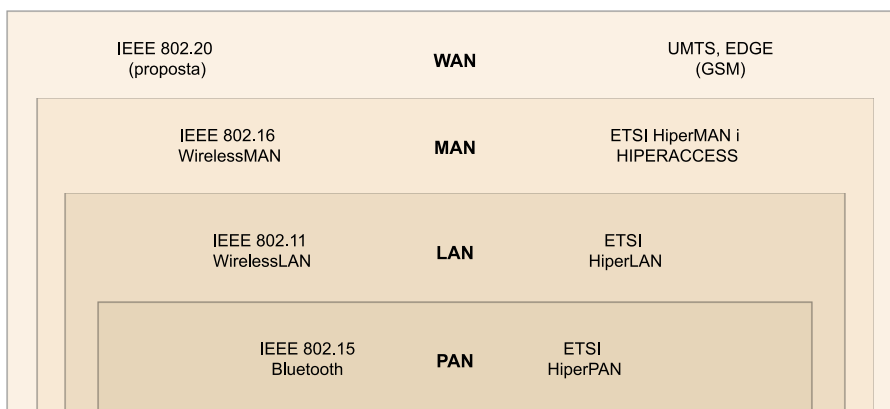
Les arquitectures de referència emprades per a desplegar STI tenen en comú que han estat dissenyades per a proporcionar una sèrie de serveis i d'aplicacions emmarcades en els STI, i que per a això s'usen majoritàriament interfícies de comunicacions sense fil. Així, doncs, cal definir quina tecnologia és la que millor s'adapta tant a l'escenari en el qual es desplegarà, com als serveis en què es vulgui proporcionar.

A més, s'ha de tenir en compte que aquest tipus de sistemes han de proporcionar unes característiques específiques dels serveis orientats a l'àmbit del transport, com per exemple temps real, connectivitat entre nodes mòbils, posicionament, encaminament d'informació a àrees i a usuaris determinats, etc.

Com veurem, hi ha tecnologies ben conegudes i testades en altres àmbits que no són els dels STI. Això es deu a la necessitat d'implantar en el mercat noves aplicacions de manera ràpida i fiable, la qual cosa ha propiciat que siguin aquestes tecnologies les que es despleguin en els STI. Així i tot, algunes presenten una sèrie de problemes que han provocat l'aparició de nous estàndards que milloren el rendiment i les prestacions d'aquestes altres interfícies sense fil.

Depenent de l'abast i l'àmbit dels sistemes de comunicacions, les xarxes sense fil es poden classificar principalment en quatre grups, com es mostra en la figura 1.

Figura 1. Tecnologies sense fil pel que fa a l'abast



Les xarxes anomenades *personal area network* (PAN) es despleguen als escenaris on es vulgui proporcionar una cobertura de fins a uns 10 metres, aproximadament. Alguns exemples d'aplicacions basades en aquest tipus de xarxes poden ser els sistemes de pagament de peatges automàtics o els actuals sistemes intravehiculars que permeten reproduir, per mitjà del sistema estèreo del vehicle,

Infotainment

En el context dels STI, aquest terme fa referència a la informació basada en contingut multimèdia i destinada a l'entreteniment, amb l'objectiu de millorar l'experiència tant dels passatgers com del conductor d'un vehicle. Dins d'aquest tipus d'informació, el contingut característic és la transmissió de vídeo.

Exemple d'aplicació

Un típic exemple en el qual pot caldre transmetre vídeo en l'àmbit d'un STI és quan es vulgui, per exemple, permetre que un camió o un autobús disposi d'una càmera de vídeo enfocant la carretera. Si el vehicle és capaç de difondre el vídeo als cotxes que el segueixen, tindran més informació per a poder avançar-lo, per exemple.

la música emmagatzemada al telèfon mòbil. A poc a poc, i gràcies a l'extensió de l'ús del telèfon mòbil com a concentrador de serveis, es desenvolupen més aplicacions orientades tant a l'infoentreteniment (*infotainment*) com a la millora de la seguretat dels passatgers. Algunes de les tecnologies d'aquest radi d'abast són el Bluetooth (IEEE 802.15), el ZigBee (IEEE 802.15.4) o els sistemes d'identificació per radiofreqüència, més coneguts com a RFID.

La *local area network* (LAN) més senzilla consisteix a interconnectar diversos ordinadors, essent l'abast màxim de l'enllaç uns 200 metres. Si aquest enllaç es fa mitjançant una interfície sense fil, parlarem de *wireless local area network* (WLAN), tipologia de xarxa emprada normalment en els STI, que permet l'intercanvi d'informació entre els vehicles en moviment, o entre aquests i la infraestructura. La facultat de moviment és el que fa que les interfícies de comunicacions sense fil més comunes (Wi-Fi, per exemple) presentin alguns problemes a l'hora de desplegar-les en STI. Per aquest motiu s'han desenvolupat nous estàndards que parteixen de la base de Wi-Fi per a adaptar-se a un entorn tan canviant com pot ser una xarxa de nodes mòbils. En concret, estem parlant de l'estàndard IEEE 802.11p, que analitzarem més endavant i que ha estat desenvolupat d'acord amb les necessitats concretes dels enllaços V2V i V2I/I2V.

Una *metropolitan area network* (MAN) és una xarxa de banda ampla que dona velocitats d'uns 70 Mbps, la qual cosa permet oferir serveis combinats de dades, veu i vídeo a alta qualitat i en una àrea geogràfica d'uns 48 km. En els STI, els enllaços basats en aquest tipus de xarxes es despleguen entre els sistemes localitzats en la infraestructura, on no és possible realitzar una connexió cablejada d'alta velocitat i cal enviar la informació recollida pels sensors, càmeres de supervisió de trànsit o equips de control de velocitat al sistema de control i de gestió central.

1.1. Sistemes de comunicacions a l'interior dels vehicles

Les comunicacions que es despleguen a l'interior dels vehicles, també conegudes com a intravehiculars, són totes les que permeten l'intercanvi d'informació entre els diferents sistemes dins del vehicle. Poden agrupar-se en dues categories:

1) **Cablejades:** transmeten informació entre tots els components encarregats de la gestió de la conducció, la seguretat i els sistemes interns del vehicle.

2) **Xarxes sense fil:** atesa la seva menor fiabilitat, fonamentalment pel que fa a la capacitat de transmissió en temps real i la possibilitat de trobar interferències perquè empren bandes de transmissió lliures, estan dedicades únicament i exclusivament a donar servei a sistemes de confort i multimèdia, no essent

Comunicacions intravehiculars

Les comunicacions intravehiculars són totes les que permeten l'intercanvi d'informació entre els diferents sistemes dins del vehicle.

utilitzades normalment per a donar suport a temes relacionats amb seguretat. El mans lliures del telèfon mòbil, els navegadors i els sistemes de reproducció de música i de vídeo són algunes de les aplicacions més comunes.

1.1.1. Sistemes de comunicacions cablejats

Aquests tipus de comunicacions transmeten informació entre tots els components encarregats de la gestió de la conducció, seguretat i sistemes interns del vehicle. Habitualment, aquests busos de comunicacions cablejats són multiplexats i es basen en tecnologia CAN (*controller area network*) de Bosch, l'estàndard *de facto* en automoció. Derivats d'aquest sistema són els coneguts OBD-II i EOBD (*on-board diagnostics* i *European on-board diagnostics*).

OBD-II i EOBD

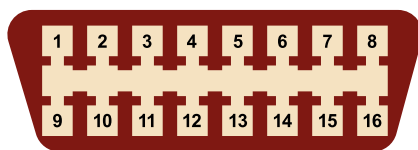
Són dos estàndards (americà i europeu, respectivament) que fan possible el monitoratge i el control complet del motor i d'altres dispositius del vehicle.

El sistema OBD és una eina de diagnòstic integrada en el vehicle i connectada a l'*electronic control unit* (ECU), de manera que permet accedir a informació dels diferents subsistemes electrònics i mecànics del vehicle: gestió del motor, ABS, llums, gestió d'emissions, etc. L'objectiu de l'OBD és monitorar contínuament el bon funcionament de tots els subsistemes gestionats. Així, en el moment que hi hagi una fallada, l'OBD ho detecta i pot avisar l'usuari mitjançant un testimoni instal·lat al quadre de comandament i, al mateix temps, emmagatzemar la informació en memòria per a la posterior anàlisi. La seva denominació, EOBD II, es deu al fet que es tracta d'una adaptació per a Europa del sistema implantat als EUA, a més de tractar-se d'una segona generació de sistemes de diagnòstic.

Actualment, tots els vehicles han d'incorporar aquest sistema a causa de les directrius de la Unió Europea, de manera que, entre altres funcions, es pugui monitorar, controlar i gestionar l'emissió de gasos del vehicle amb l'objectiu de minimitzar-la. Des de gener de l'any 2000, quan va entrar en vigor la fase III, s'obliga el fabricant a incorporar un sistema de vigilància de la contaminació provocada pel vehicle que informi l'usuari d'aquesta situació. El sistema, encriptat i estandaritzat per a tots els fabricants, i que conviu amb el sistema d'autodiagnosi de la marca, és l'*European on-board diagnostics* (EOBD).

Tal com dèiem anteriorment, el sistema OBD està connectat a l'ECU. Aquesta comunicació es pot implementar mitjançant tres protocols bàsics, que presenten mínimes diferències entre ells. En l'àmbit europeu, el més utilitzat és l'estàndard ISO 9141, desenvolupat per Chrysler. D'altra banda, General Motors utilitza el SAE J1850 VPW, i Ford el SAE J1850 PWM. Així, doncs, el connector estàndard OBD està preparat per a la lectura de dades d'aquests tres protocols.

Figura 2. Terminals del connector OBD-II



1. Sense ús	5. Terra del senyal	9. Sense ús	13. Terra del senyal
2. J1850 Bus positiu	6. CAN High	10. J1850 Bus negatiu	14. CAN Low
3. Sense ús	7. ISO 9141-2 (línia K)	11. Sense ús	15. ISO 9141-2 (línia L)
4. Terra del vehicle	8. Sense ús	12. Sense ús	16. Bateria (positiu)

Font: <http://www.e-auto.com.mx>

El sistema OBD, mitjançant el connector mostrat en la figura 2, permet accedir a les ECU de tots els fabricants de vehicles, ja que els codis d'avaries que pot detectar també estan estandaritzats. D'aquesta manera, l'OBD facilita a l'usuari informació sobre les condicions en què es va produir la fallada. Els modes de prova de diagnòstic OBD-II han estat creats de manera que siguin comuns a tots els vehicles de diferents fabricants. Així és indistint tant el vehicle que s'estigui xequellant com l'equip de diagnosi que s'usi, perquè les proves es faran sempre de la mateixa manera.

Per tant, partint d'un connector estàndard hi ha multitud d'aplicacions d'usuari que faciliten l'accés a tota la informació proporcionada per l'ECU i el sistema OBD. Alguns exemples són l'aplicació Torque (molt usada i estesa), EOBD Facile o REV. Podeu incloure multitud de referències d'aquestes aplicacions a internet.

1.1.2. Sistemes de comunicacions sense fil

Entre els sistemes de comunicacions sense fil utilitzats per a l'intercanvi de dades a l'interior del vehicle, no hi ha desenvolupaments o tecnologies diferents d'altres que puguin ser desplegades en entorns o aplicacions diferents. Així, doncs, són Bluetooth, ZigBee i Ultrawideband les tecnologies comunament usades. Ara no farem una descripció detallada d'aquestes tecnologies perquè són ben conegudes, però sí que en farem un breu repàs.

Bluetooth

És un estàndard de comunicacions emprat en enllaços de ràdio de curt abast dissenyat per a reemplaçar el cablejat que hi ha entre dispositius electrònics, com ara telèfons mòbils, tauletes, ordinadors i molts altres dispositius. Fou creat l'any 1998 per un *special interest group* (SIG) format per grans empreses de la indústria de les comunicacions com Ericsson, IBM, Intel, Toshiba i Nokia. L'objectiu del grup era establir la creació d'una especificació de connectivitat sense fil. Els principals objectius que es pretenien aconseguir eren els següents:

- Facilitar les comunicacions entre equips fixos i mòbils.

Connector OBD

El connector ISO 15031-3 s'utilitza amb l'OBD-II i l'EOBD.

- Eliminar el cablejat i els connectors entre tots dos dispositius.
- Crear petites xarxes sense fil de manera que es puguin comunicar entre equips personals.

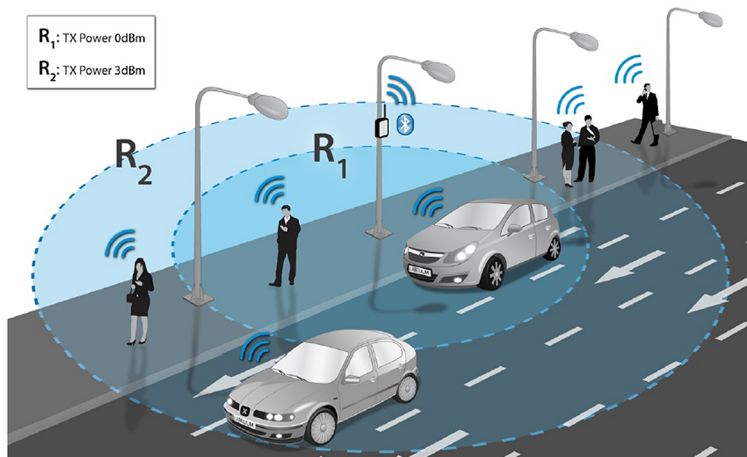
Els nivells de la capa física i de la capa d'enllaç de dades es formalitzen sota l'estàndard IEEE 802.15.1. El principi de funcionament de l'estàndard Bluetooth treballa en la banda de 2.4 Ghz, i utilitza una tècnica d'espectre eixamplat de salts de freqüència (FHSS) que consisteix a dividir la banda operativa en què treballa en setanta-nou canals amb un ample de banda d'1 Mhz cadascun; defineix una velocitat màxima de fins a 1 Mbps (720 kbps amb abast de 10 m) i una velocitat de transmissió aèria total de 2 a 3 Mbps en el mode millorat de transferència de dades.

El SIG de Bluetooth va completar el 2010 l'especificació del nucli de Bluetooth en la seva versió 4.0, que inclou al Bluetooth clàssic, el Bluetooth d'alta velocitat i els protocols Bluetooth de baix consum. Respecte a això, el Bluetooth de baixa energia (*Bluetooth Low Energy* o BLE) és un subconjunt de Bluetooth v4.0 amb una pila de protocol completament nova que permet desenvolupar ràpidament enllaços senzills. Com a alternativa als protocols estàndard de Bluetooth que es van introduir en Bluetooth v1.0 a v4.0 està dirigit a aplicacions de molt baixa potència que es poden alimentar fàcilment amb una pila de botó.

Bluetooth s'ha convertit en un estàndard molt estès i comú en qualsevol dispositiu d'electrònica de consum. Així, doncs, les aplicacions més comunes a l'interior de vehicles són com a mans lliures del telèfon mòbil, per a reproduir música des del mòbil o, per exemple, per a accedir a les dades de l'OBD per mitjà d'un convertidor OBD-Bluetooth (pots trobar-ne múltiples models a Amazon, Ebay, etc.).

Entre les aplicacions noves de Bluetooth aplicades a l'entorn dels STI, cal destacar, per exemple, la desenvolupada per Libelium, que està basada en l'ús del mans lliures dels vehicles que empren Bluetooth per a la identificació dels vehicles, com es pot veure en la figura 3.

Figura 3. Exemple d'ús d'aplicació Bluetooth en entorns STI



Font: <http://www.libelium.com>

ZigBee

Estàndard de comunicacions sense fil dissenyat per la ZigBee Alliance, formada entre altres empreses per Motorola, Philips, Samsung, Honeywell i Siemens. ZigBee és un conjunt de solucions estandarditzades que poden ser implementades per qualsevol fabricant, prenent com a referència l'estàndard IEEE 802.15.4 de xarxes sense fil d'àrea personal, i té com a objectiu les aplicacions que requereixen comunicacions segures amb baixa taxa d'enviament de dades i maximització de la vida útil de les bateries. Aquest tipus de xarxes utilitzen el nivell físic i d'accés al mitjà (MAC) definit en l'estàndard d'IEEE per WPAN, i en el nivell d'aplicació utilitzen l'especificació propietària.

Una de les característiques fonamentals de Zigbee és que permet diversos tipus d'organització dels diferents nodes de la xarxa en configuracions com a mestre-esclau i també en xarxes mallades, i està dissenyat per a operar en xarxes de gran densitat de nodes. És una xarxa totalment autònoma, per la qual cosa funciona amb sistemes d'alimentació autònoms, ja que realment la xarxa, en conjunt, utilitzarà una quantitat molt petita d'energia, de manera que cada dispositiu individual pugui tenir una autonomia de fins a cinc anys abans de necessitar canviar la bateria interna.

Zigbee opera, igual que Bluetooth, en les bandes lliures ISM de 2,4 GHz, 868 MHz (Europa) i 915 MHz (EUA). Proporciona una velocitat de transmissió de 250 Kbps i un rang de cobertura d'entre 10 i 75 metres. Encara que coexisteix en la mateixa freqüència amb un altre tipus de xarxes, com ara Wi-Fi o Bluetooth, no hi ha interferència entre elles, principalment a causa de la baixa taxa de transmissió.

Entre les seves aplicacions en entorns vehiculars, cal destacar que s'usa principalment per a reportar informació de sensors sense fil, tant als vehicles com a la infraestructura.

Exemple d'aplicació

Accedint al repositori de la Universitat de Kent, a <https://kar.kent.ac.uk> i buscant pel document InTech2012, podreu trobar exemples d'aplicació de xarxes de sensors sense fil als STI.

Ultrawideband

És una tecnologia per a la transmissió de dades que emprà tècniques que causen una difusió de l'energia de radi en una banda de freqüència molt àmplia, i utilitza per a això una densitat espectral de potència molt baixa. La baixa densitat espectral de potència limita la possible interferència amb els sistemes convencionals de ràdio, al mateix temps que l'elevat ample de banda pot permetre un rendiment molt alt de transmissió de dades (com ara àudio i vídeo) per a dispositius de comunicacions.

Gràcies a l'ample de banda que UWB utilitza, és possible emprar-lo per a transmetre vídeo, i fins i tot altres tipus de dades digitals. El seu principal avantatge respecte a altres tecnologies sense fil està en el fet que pot transmetre més dades usant menys potència que la resta de sistemes disponibles.

La Federal Communications Commission (FCC) determina que aquests dispositius han de funcionar amb l'ample de banda a -10 dB, de manera que les freqüències en què s'estenen van des de 3,1 GHz fins a 10,6 GHz, i amb una densitat espectral de potència màxima d'emissió de $-41,3$ dBm/MHz. A causa de la limitació de potència, el seu abast és força reduït. No obstant això, aquesta limitació no ho és en el cas de voler emprar la tecnologia en l'àmbit de les comunicacions intravehiculars.

Una de les aplicacions més interessants d'UWB és l'ús per al desenvolupament de sistemes de radar orientades a desplegar aplicacions de seguretat activa o passiva als vehicles. D'aquesta manera, els UWB (*short range radar*, SRR) són radars que operen a la freqüència de 5 GHz i ofereixen una resolució de fins a 3 cm en la distància mesurada.

1.2. Sistemes de comunicacions a l'exterior dels vehicles

1.2.1. Sistemes tradicionals de comunicacions

Actualment, per a l'enviament d'informació des dels subsistemes desplegats en la infraestructura fins al centre de gestió de trànsit hi ha diferents normatives:

- UNE 135421-3:2004. Equipament per a la senyalització viària. Estacions de presa de dades. Part 3: Requisits funcionals i protocols aplicatius.
- UNE 135421-3-1:2004. Equipament per a la senyalització viària. Estacions de presa de dades. Part 3-1: Requisits funcionals i protocols aplicatius. Subministrament de dades instantànies.

Bibliografia recomanada

L'article titulat *Trends in Automotive RF Wireless Applications and their Electromagnetic Spectrum Requirements*, escrit per Hans Ludwig Blöcher i altres, ofereix una bona introducció a aquests tipus de sistemes.

- UNE 135490-1:2006. Equipament per a la senyalització viària. Intercanvi d'informació entre centres de control zonals i el centre de centres. Part 1: Requisits generals.
- UNE 199011. Equipament per a la senyalització viària. Estacions remotes.

A més de les normatives anteriors, entre els dispositius pensats per a ITS hi ha diversos protocols estandaritzats, si bé un dels més utilitzats en l'àmbit mundial és el *National Transportation Communications for Intelligent Transportation System Protocol* (NTCIP).

L'NTCIP és una família d'estàndards dissenyats per a aconseguir la interoperabilitat i la intercomunicació entre equips electrònics de control de trànsit de diferents fabricants i els centres (o màquines) de control. El naixement d'aquest estàndard va ser l'any 1992, per la qual cosa ja té una maduresa avançada (si bé no ha deixat d'actualitzar-se en funció de noves necessitats sorgides gràcies a l'avenç de les tecnologies).

Com que hi ha diferents tipus d'equips de diversa naturalesa, l'estàndard NTCIP està dividit en diferents documents. Aquests documents indiquen el protocol i els procediments de comunicacions de dispositius com:

- senyals de trànsit (NTCIP 1202)
- panells de missatge variable/dinàmic (PMV – VMS) (NTCIP 1203)
- estacions de sensors ambientals/meteorològics (NTCIP 1204)
- càmeres de vídeo d'explotació (NTCIP 1205)
- estacions de comptatge de vehicles (ETD, aforaments i bàscules de pesada) (NTCIP 1206)
- sistemes de sensors per al transport (NTCIP 1209)
- semàfors (NTCIP 1210 i 1211)
- sistemes d'enllumenat (NTCIP 1213)

Aquests estàndards mostren a més els protocols a seguir per a comunicar-se entre els sistemes anteriors, o directament amb el centre de control. D'altra banda, DATEX (DATA EXchange) és un estàndard d'intercanvi d'informació de trànsit entre sistemes heterogenis (CEN/TS 16157-4/5:2014). Aquesta informació de trànsit inclou qualsevol situació que afecti o pugui afectar el viatger, des d'un accident que provoca una retenció fins al tancament d'una estació de servei en una autopista.

El propòsit de DATEX és facilitar el correcte intercanvi entre administracions i altres entitats establint models comuns que permetin representar la informació de qualsevol sistema d'informació de trànsit. La versió inicial; DATEX I, tenia certes limitacions relacionades amb la rigidesa del model de dades, per la qual cosa DATEX II aporta quatre avantatges principals respecte a DATEX I:

- S'amplia significativament el model de dades de trànsit. DATEX II ha estat elaborat minuciosament atenent les necessitats de cada país, per la qual cosa el model resultant és molt complet.
- El model de dades s'ha fet de manera que en facilita l'extensió per a adequar-lo a noves necessitats que puguin aparèixer, tant del model de dades de trànsit com de nous models de dades no directament relacionats amb el trànsit, però que puguin aportar informació valuosa, com ara dades de trànsit, panells de missatge variable, càmeres, etc.
- S'afegeix un model d'intercanvi basat en serveis web, la qual cosa facilita la interoperabilitat entre diferents nodes. A DATEX I calia acordar un protocol d'intercanvi per a cada parell de nodes que desitjaven intercanviar informació.
- Està orientat, a més de l'intercanvi, cap a la publicació d'informació, la qual cosa permet que sectors d'informació de trànsit i viatge puguin participar en l'escenari de difusió d'informació mitjançant aquest format comú.

DATEX II es considera d'especial rellevància per a les aplicacions on la informació sobre el sistema de transport i les carreteres és dinàmica. Entre les seves principals àrees d'ús hi ha el reencaminament; la gestió de xarxa i la planificació de la gestió del trànsit; els sistemes de control (com ara els sistemes amb límit dinàmic de velocitat o *ramp metering*); els enllaços de sistemes de gestió de trànsit i els sistemes d'informació de trànsit; les aplicacions on l'intercanvi d'informació entre vehicles individuals i centres de control de trànsit és crucial, així com aquelles on l'intercanvi de dades mesurades és important; i la provisió de serveis en el marc de la gestió de carreteres.

El modelatge de DATEX II es basa en el llenguatge UML, àmpliament estès i estable. La plataforma d'implementació actual per a l'intercanvi de missatges és l'estàndard W3C per a definició d'esquemes XML. El mapatge del model de dades s'ha definit en les especificacions i l'usuari pot estendre'l si ho desitja en funció de les seves aplicacions i necessitats. Cal destacar que encara que el model de dades actual es mapa a XML, en el futur podrien emprar-se altres plataformes, com ASN.1, exactament de la mateixa manera i sense perdre la interoperabilitat de les aplicacions que intercanvien la informació.

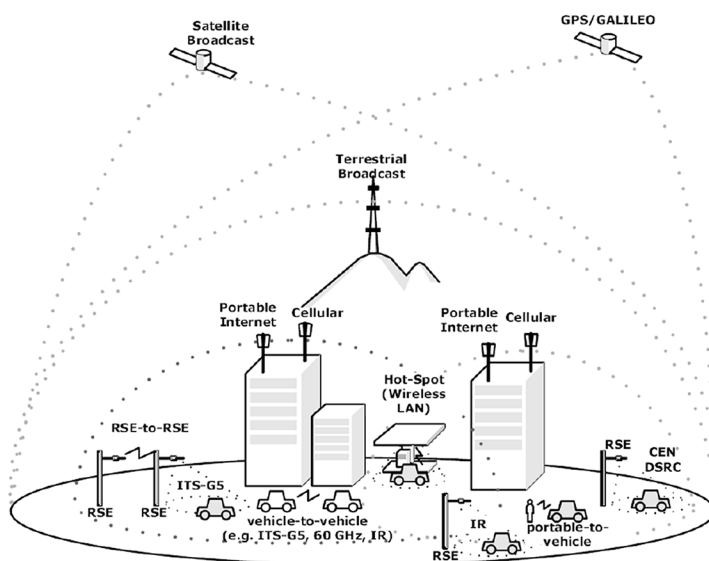
1.2.2. Xarxes VANET

Una VANET o *vehicular ad-hoc network* és una xarxa *ad-hoc* en la qual els nodes són mòbils (cotxes, camions, autobusos, etc.). En aquest escenari és possible que els nodes formin una xarxa on el moviment segueixi patrons diferents (destinació, velocitat, direcció), i són capaces de mantenir una comunicació entre ells (*vehicle-to-vehicle*), podent tenir també un equip fix proper que formarà part de la xarxa i que la dotarà d'una connexió cap a serveis instal·lats fora de la infraestructura (*vehicle-to-roadside* o *vehicle-to-entornament*), igual que avui dia els nostres terminals mòbils accedeixen a internet per enllaços GPRS o UMTS, i a curt termini LTE.

Xarxa VANET enfront de xarxa MANET

Cal diferenciar que MANET descriu sobretot un camp d'investigació acadèmic, mentre que el terme VANET està més enfocat a l'aplicació de les MANET en l'àrea de les comunicacions vehiculars.

Figura 4. Exemple d'escenari ITS amb xarxes VANET i cel·lulars



Actualment, el tema de les VANET, així com el de les àrees d'aplicació dels sistemes vehiculars cooperatius, està en ple desenvolupament i investigació. De fet, hi ha diversos grups de treball, tant en universitats com en organismes públics i indústria, que investiguen aquest camp a causa de la multitud de possibles serveis i beneficis derivats del seu desplegament. Alguns dels consorcis són VSC o *Vehicle Safety Communications* (EUA), C2CCC o *Car to Car Communication Consortium* (Europa), Internet ITS (Japó), Sigmobile (EUA) i l'IEEE mateix, que juntament amb el C2CCC europeu acaba de finalitzar l'estandarització del protocol IEEE 802.11p, una extensió més del comunament conegut com Wi-Fi, però adaptat a escenaris de transport, equivalent a l'estàndard DSRC o *Dedicated Short Range Communication*, utilitzat als Estats Units.

1.2.3. Xarxes WLAN

L'estàndard IEEE 802.11 o *wireless fidelity* (Wi-Fi) garanteix la interoperabilitat de les anomenades xarxes d'àrea local sense fil o *wireless local area network* (WLAN). Gràcies a la tecnologia de radiofreqüència que utilitza és possible oferir mobilitat als usuaris minimitzant les connexions cablejades. El conjunt de

tecnologies derivades d'aquest estàndard es presenta en l'àmbit del transport com l'únic sistema amb total disponibilitat per a comunicacions embarcades de lliure disposició.

Una funcionalitat bàsica de les WLAN és que com que no necessiten enllaços físics amb la infraestructura són d'ús ideal en exteriors, tant en computació portàtil com en computació mòbil. D'altra banda, els equips connectats no han d'estar fixos durant la utilització, sinó que poden embarcar-se en qualsevol vehicle i romandre en moviment mentre es duguin a terme operacions de transmissió de dades.

L'especificació IEEE 802.11 forma part de la família d'estàndards per a xarxes d'àrea local i metropolitana d'IEEE. A aquesta família pertanyen tots els estàndards d'ús comú en transmissió de dades, i es basen en la descripció de les capes física i de nivell d'enllaç (MAC) definides per la International Organization for Standardization (ISO) per al sistema de referència bàsic d'interconnexió de sistemes oberts (OSI).

L'IEEE defineix els nivells de l'arquitectura OSI físic (*physical layer*) i de nivell d'enllaç (*data link layer*) dividint l'últim en les capes *medium access control* (MAC) i *logical link control* (LLC). Es pot observar que tots els estàndards dels protocols de xarxa defineixen de manera propietària els nivells OSI físic i MAC. El nivell LLC està definit en el protocol 802.2 i és idèntic per a tots els tipus de LAN.

L'IEEE 802.11-1997 representa el primer estàndard per a productes WLAN d'IEEE per a la regulació de normes a les capes física i MAC de les targetes de comunicacions per a aquest tipus de xarxes. L'acceptació per part dels fabricants d'aquest estàndard va ser, en el seu moment, immediata, ja que així es va assegurar la interconnectivitat i compatibilitat entre qualsevol d'aquests dispositius. L'estàndard defineix el protocol i la compatibilitat d'interconnexió dels equips de comunicació de dades via aèria, tant si és per ràdio a 2.4 GHz com per infrarojos en forma de xarxa d'àrea local (LAN), utilitzant per a compartir el mitjà el protocol *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA/CA).

La capa OSI de control d'accés al mitjà (MAC) suporta accessos bé sota el control d'un punt d'accés centralitzat, a l'estil de la telefonia mòbil, o bé entre estacions independents. El protocol inclou els serveis d'autenticació, associació, control del consum d'energia per a estacions mòbils, procediments d'encriptació i descriptació i funcions de sincronització per a transferències d'informació limitades en el temps. L'estàndard inclou la definició de la informació base de manteniment (MIB) utilitzant sintaxi abstracta (ASN.1), i l'especificació formal de la capa MAC del protocol utilitzant el llenguatge d'especificació i de descripció (SDL).

Aquest estàndard conté material sobre l'actualització de les WLAN, i està en constant evolució. D'aquesta manera, cada poc temps apareixen noves versions de l'estàndard que aclareixen el material que hi ha, corregeixen possibles errors i incorporen nou material i informació. L'última versió d'aquest estàndard és la 802.11 rev. g-2003, en la qual es descriu la interfície de funcionament per a WLAN a 54 Mbps.

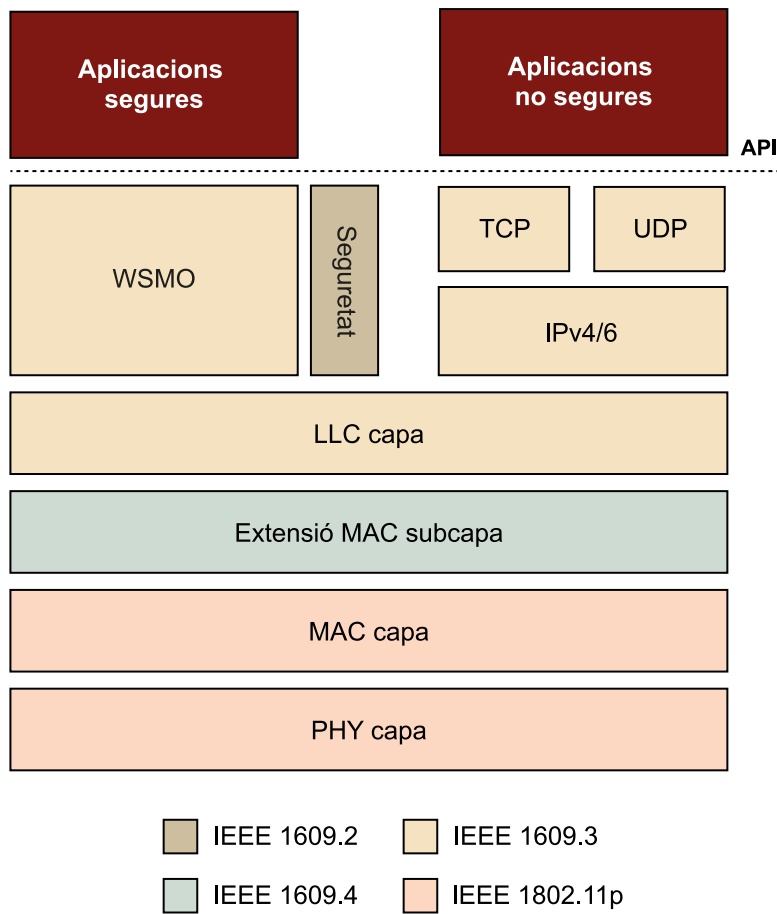
1.2.4. DSRC i WAVE

Els sistemes de comunicacions dedicades de curt abast, *dedicated short range communications* (DSRC), són sistemes de transmissió de dades de curt i mitjà abast que suporten operacions de seguretat pública i privada en entorns de comunicacions de vehicle a infraestructura i de vehicle a vehicle, o viceversa.

L'any 1999, la Comissió Federal de Comunicacions (FCC) va assignar 75 MHz a la banda de 5.9 GHz per a l'espectre DSRC. Aquesta banda està formada per un canal de 5 MHz i per set canals de 10 MHz, cadascun destinat a un servei concret.

L'any 2001, l'IEEE va adoptar 802.11a com a tecnologia base per a desenvolupar l'estàndard IEEE 802.11p per a aplicacions DSRC. Aquest, com es detallarà més endavant, defineix les especificacions ràdio de la capa MAC i la capa física, mentre que les capes de comunicació superiors es defineixen en la família d'estàndards 1609.x, i juntes formen el conegut estàndard WAVE (figura 5).

Figura 5. Pila de protocols IEEE 802.11p/WAVE



D'aquesta manera, podem dir que el DSRC està basat en l'especificació IEEE 802.11p WAVE i que s'entén com un complement als sistemes de comunicacions basats en telefonia mòbil, tot proporcionant taxes de transferència de dades molt altes en circumstàncies on és important minimitzar els temps de latència en l'establiment dels canals i l'aïllament de zones de comunicacions relativament petites.

Aquesta tecnologia té una estructura mixta entre internet sense fil i els sistemes ràdio mòdem. És capaç de difondre informació en mode *broadcast* o a un usuari determinat segons les necessitats i la naturalesa de la informació, integrant tots els vehicles que hi ha propers a una zona reduïda de terreny en una mateixa xarxa, la qual cosa permet l'intercanvi d'informació de manera ràpida i fiable amb un temps mínim de connexió a la xarxa i sense demores en l'accés a la informació.

Com es pot observar analitzant la bibliografia actual, les comunicacions V2X generen en l'actualitat un gran interès social i industrial, ja que prometen reduir dràsticament les morts a la carretera, millorar la mobilitat i permetre un alt nivell d'automatització del vehicle. Per tant, és indispensable que aquestes comunicacions funcionin robustament en un entorn molt dinàmic amb altes

velocitats relatives entre transmissors i receptors, i que suportin la latència extremadament baixa requerida per les aplicacions relacionades amb la seguretat en autopistes ràpides, interseccions urbanes abarrotades i túnels.

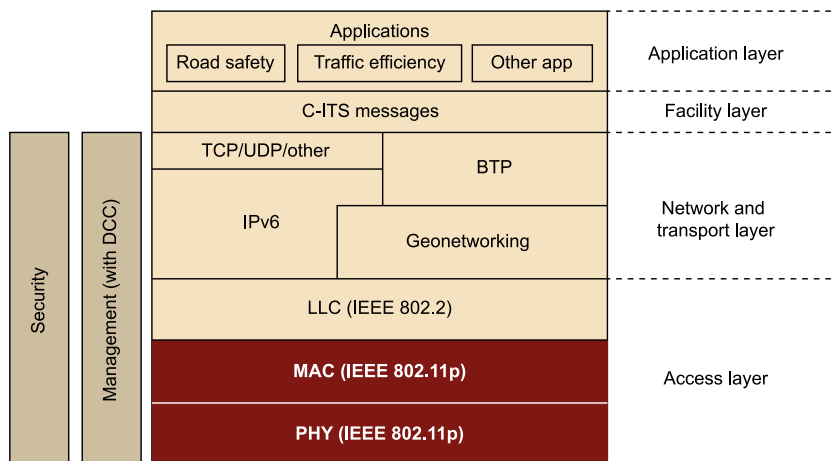
Durant anys, la tecnologia triada per a aquestes comunicacions V2X ha estat l'IEEE 802.11p. Tanmateix, això va canviar l'any 2015 quan el 3GPP va començar a desenvolupar el nou estàndard de comunicacions C-V2X, que permet el desplegament d'aplicacions V2X basat en la banda ampla mòbil. Atès que la seguretat de milions d'usuaris de la carretera dependrà del rendiment d'aquestes tecnologies, és important fer-ne una anàlisi exhaustiva. Per tant, en les següents pàgines es presenten breument aquests dos estàndards, juntament amb les arquitectures associades, i se'n resumeixen els avantatges i els desavantatges quan s'apliquen als sistemes de comunicacions V2X.

IEEE 802.11p

La norma IEEE 802.11p es va publicar l'any 2010 i, des d'aleshores, s'han realitzat múltiples proves arreu del món, fins i tot amb milers de vehicles. Aquesta tecnologia forma part de la pila de protocols de dos estàndards: *wireless access in vehicular environments* (WAVE) i ITS-G5. El primer protocol és el que s'usa als Estats Units per a les comunicacions vehiculars, i la seva pila de protocols es mostra en la figura 5.

D'altra banda, ITS-G5, que és una versió lleugerament modificada de WAVE, és l'estàndard que se segueix a Europa i la seva pila de protocols es correspon amb la representada en la figura 6.

Figura 6. Pila de protocols ITS-G5



La principal diferència entre aquestes dues arquitectures de referència està en les capes superiors. Així, en comparació de WAVE, la pila de protocols europea disposa d'una capa de servei situada entre la capa de xarxa i transport i la capa d'aplicació. S'observa com en ambdues piles de protocols, l'IEEE 802.11p és la tecnologia encarregada de les capes inferiors de la pila, és a dir, la capa

física (PHY) i la capa de control d'accés mitjà (MAC). Aquestes capes són pràcticament idèntiques a excepció de les operacions multicanal, que a WAVE s'especifiquen mitjançant l'estàndard IEEE 1609.4, mentre que a ITS-G5 l'ús de múltiples canals de freqüència està recolzat pel mecanisme *decentralized congestion control* (DCC) integrat en el mòdul de gestió. D'aquesta manera, les característiques tècniques més destacables de l'IEEE 802.11p són les següents:

- La capa PHY utilitza OFDM amb seixanta-quatre subportadores (quaranta-vuit per a dades, quatre per a pilot i dotze per a nul).
- La separació entre canals és de 10 MHz, en lloc de 20 MHz com passa en 802.11a per a reduir la dispersió de retard.
- La capa MAC adopta el mecanisme *enhanced distributed channel access* (EDCA) que hereta l'accés *carrier-sense multiple access with collision avoidance* (CSMA/CA) i el millora proporcionant diferents paràmetres d'accés al mitjà per a oferir prioritats de servei.
- Ofereix un mode de funcionament *ad hoc*, conegut com *outside the context of a BSS* (OCB), que evita el procés d'autenticació i d'associació per establir un *Basic Service Set* (BSS) i, per tant, simplifica el procediment de configuració, per a adaptar-se a les aplicacions de seguretat que requereixen connexions de curta durada i requisits de baixa latència.

Les principals particularitats que fan que l'IEEE 802.11p sigui actualment l'estàndard reconegut per a aplicacions C-ITS són, en principi, el fàcil desplegament, el baix cost i el seu suport natiu de comunicacions V2X en mode *ad hoc*. Si a això se li suma la gran quantitat de proves dutes a terme en escenaris reals i el gran nombre de dispositius ja disponibles en el mercat, el principal avantatge d'aquesta tecnologia és que sembla madura per a un desplegament a gran escala. No obstant això, l'IEEE 802.11p també s'enfronta a múltiples inconvenients com ara:

- El problema d'escalabilitat o, en altres paraules, el possible alt nivell d'errors en condicions de trànsit dens. Aquest problema s'origina per l'ús del protocol CSMA/CA en la capa MAC, el qual segueix un principi d'escolta abans de la transmissió. Opcionalment, cada equip anuncia la seva intenció de transmetre abans de fer-ho per a evitar col·lisions entre els paquets de dades. D'aquesta manera, cada vehicle escolta el canal durant un període de temps predeterminat. Si percep que el canal està lliure, el vehicle començarà a transmetre; en cas contrari, el vehicle ajornarà l'accés per un període de temps aleatori dins d'una finestra de contenció. Això farà que el rendiment de CSMA/CA es deteriori greument i generarà especial preocupació per la seva fiabilitat en condicions de trànsit abundant.
- La necessitat de desplegar una infraestructura de carretera formada per *road side units* (RSU) amb l'alta inversió que això comporta. Atès que la falta

d'infraestructura genera dificultats a l'hora de garantir certs nivells de servei, la necessitat d'un desplegament generalitzat d'infraestructura fa que es consideri que l'IEEE 802.11p ofereix, en l'actualitat, connectivitat intermitent entre vehicles i dispositius. Per tant, no permet assegurar el compliment dels estrictes requisits de latència i de fiabilitat de les aplicacions C-ITS relacionades amb la seguretat.

- La falta de plans clars per al futur que s'evidencia, per exemple, en el fet que les piles i els estàndards definits a Europa i als Estats Units no estan harmonitzats. Com a exemple es pot destacar que les versions europea i nord-americana no són compatibles. Això passa perquè als Estats Units, la FCC (Federal Communications Commission) ha assignat per a les aplicacions de C-ITS un ample de banda de 75 MHz al llarg de l'espectre de 5,850-5,925 GHz. Aquest ample de banda total se subdivideix en set canals de 10 MHz per a cadascun. En canvi, a Europa, l'ample de banda que s'ha assignat a les aplicacions C-ITS és de 50 MHz en el rang freqüencial de 5,875-5,925 GHz, el qual se subdivideix en cinc canals de 10 MHz.
- La baixa penetració en el mercat origina que el desplegament de xarxes *ad hoc* pateixi el típic problema de la gallina i l'ou, ja que es requereix un cert nombre de vehicles equipats amb l'IEEE 802.11p abans que l'enfocament sigui efectiu.

1.2.5. Comunicacions cel·lulars C-V2X

Com s'ha presentat anteriorment, algunes de les limitacions de l'IEEE 802.11p es deuen principalment a tres causes:

- 1) falta d'un coordinador centralitzat
- 2) baixa penetració en el mercat
- 3) baixa escalabilitat i futur

Aquestes limitacions van portar els investigadors a pensar en l'ús de les comunicacions cel·lulars per a resoldre els problemes. Tanmateix, l'LTE convencional no estava preparat per a sostenir intrínsecament les comunicacions V2V, ja que en un sistema cel·lular convencional els paquets han de ser retransmesos per l'eNodeB. Per tant, per a aprofitar els punts forts d'ambdues tecnologies es va promoure l'estudi de xarxes heterogènies per al suport d'aplicacions C-ITS. En aquestes xarxes heterogènies s'utilitza l'IEEE 802.11p per a les comunicacions V2V i l'LTE per a les comunicacions amb la infraestructura, amb l'objectiu d'incloure els següents aspectes:

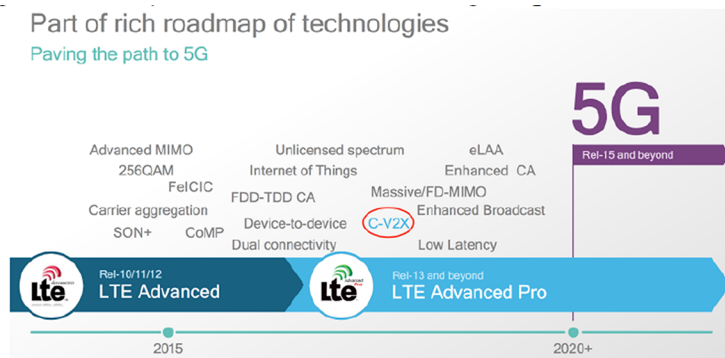
- Explotar la naturalesa de les comunicacions locals i de curt abast de la majoria de les aplicacions C-ITS.

Sistema e-call

El sistema basat en telefonia mòbil més utilitzat en l'actualitat és l'e-call, ja implantat a diversos països europeus i d'imminent desenvolupament a Espanya.

- Oferir comunicacions amb més capacitats de servei en una àrea major, independentment que els vehicles estiguin dins o fora de l'àrea de cobertura de l'estació base.
- Adaptar-se a les ràpidament variables topologies de xarxa causades per l'alta mobilitat dels vehicles.
- Ser compatible amb els estàndards de les capes d'alt nivell C-ITS que ja hi ha.
- Ser beneficiós per a diferents parts: usuaris (incloent-hi conductors, passatgers, vianants, ciclistes, etc.), operadors de telecomunicacions, venedors de telecomunicacions i fabricants d'automòbils.

Figura 7. Full de ruta de les tecnologies que condueixen a 5G



Font: <https://www.qualcomm.com/documents/cellular-vehicle-everything-c-v2x-technologies>

Malgrat els avantatges que aporten les xarxes heterogènies, tot va fer un gir quan a partir del 3GPP Release 12, l'LTE va començar a implementar la funcionalitat *device-to-device* (D2D). Aquestes comunicacions D2D ofereixen quatre tipus diferents de guanys:

- 1) El guany de proximitat s'origina de l'alta velocitat de dades i del baix consum d'energia de les comunicacions D2D a causa del rang de comunicació relativament curt entre els transceptors.
- 2) El guany de salt, ja que quan dos usuaris comuns (UE) en una xarxa cel·lular es comuniquen per un enllaç D2D només s'utilitzen dos canals.
- 3) El guany de reutilització, que es deu al fet que els enllaços D2D i cel·lulars poden compartir simultàniament els mateixos recursos de ràdio.
- 4) El guany d'aparellament ocasionat per la capacitat dels UE de seleccionar entre el mode de comunicació cel·lular i D2D.

No obstant això, el fet que aquesta tecnologia no fos concebuda per a complir els estrictes requisits de les comunicacions V2X en termes de latència, fiabilitat i mobilitat ha motivat la comunitat investigadora a analitzar l'aplicabilitat de les tècniques D2D per a comunicacions V2V en diferents treballs.

Paral·lelament als estudis acadèmics, una comprensió similar ha prevalgut en la comunitat del 3GPP. En conseqüència, l'estàndard inicial C-V2X, per a la seva inclusió en el Release 14, es va completar el setembre del 2016 durant la reunió de 3GPP RAN a Nova Orleans. La descripció d'aquest paquet de treball està en el RP-161894. Un dels punts clau del Release 14 és que ofereix dos modes de transmissió:

1) Transmissió mitjançant la xarxa. Es realitza per la interfície Uu i opera en la banda llicenciada de l'espectre tradicional de banda ampla mòbil.

2) Transmissió directa. Es realitza per la interfície PC-5, que opera en la banda ITS (ITS 5.9 GHz) i és independent de la xarxa cel·lular.

A més, una de les peculiaritats del C-V2X és que ofereix la possibilitat d'operar sense assistència de la xarxa, la qual cosa permet:

- Funcionar sense targeta SIM per a les comunicacions V2V directes.
- Implementar una selecció autònoma de recursos, de manera que els vehicles són capaços de seleccionar els recursos que els permeten transmetre sense necessitat de suport de l'eNodeB.
- Utilitzen GNSS (Global Navigation Satellite System) per a sincronitzar-se sense necessitar assistència de la xarxa.

Així mateix, les comunicacions C-V2X són capaces de suportar una àmplia varietat de casos d'ús que requereixen un major abast o un major rendiment de missatges que l'ofert fins al moment. Això es deu als avantatges que aporten les característiques de la capa física de les comunicacions C-V2X:

- La multiplexació de recursos pot ser FDM, la qual cosa ofereix una major capacitat de l'enllaç i, per tant, un major abast o un rendiment més fiable en el mateix abast.
- Les retransmissions utilitzen *hybrid automatic repeat request* (HARQ), la qual cosa permet aconseguir capacitat d'enllaç més alta.
- La codificació turbo augmenta encara més la capacitat de l'enllaç.

- Explotar la naturalesa periòdica del trànsit del V2V combinant la detecció dels recursos ràdio amb transmissions semipersistents *semi-persistent scheduling* (SPS).
- L'accés *single-carrier frequency-division multiplexing* (SC-FDM) permet més potència de transmissió amb el mateix amplificador de potència, la qual cosa condueix a un major abast o un major rendiment en el mateix abast.

Així, les comunicacions C-V2X Release 14 ofereixen avantatges clau en múltiples dimensions:

- més fiabilitat a major abast
- funcionament en escenaris d'alta densitat
- organització descentralitzada per a reduir costos i complexitat
- reutilització de les capes superiors de WAVE i ITS-G5
- suport a les altes velocitats dels vehicles
- evident evolució a xarxes 5G

Tanmateix, les comunicacions C-V2X també s'enfronten a diversos problemes. El més important és el temps de comercialització, ja que, malgrat que la primera versió ja estigui estandarditzada en el Release 14, encara falta temps perquè es comercialitzi. A més, fins al Release 16 no s'implementaran les millores necessàries per a oferir els estrictes requisits de les comunicacions V2V. Tampoc no és clar com es gestionaran els traspessos entre diferents operadors de xarxes mòbils ni la seva cooperació amb els proveïdors de serveis d'aplicacions.

Per tant, perquè triomfin les comunicacions C-V2X cal una alineació i col·laboració entre les empreses de comunicacions, els agents verticals i els organismes reguladors per a la definició de normes que assegurin l'èxit de la seguretat i l'eficiència dels vehicles

1.2.6. Breu comparativa entre IEEE 802.11p i C-V2X

Després de presentar les capacitats i les limitacions de l'IEEE 802.11p i el C-V2X, en aquest subapartat es duu a terme una profunda anàlisi comparativa. Per a començar l'anàlisi, en la taula 1 es comparen diferents característiques del disseny ràdio de les tecnologies. Pel que fa a la sincronització s'observa que l'IEEE 802.11p és asíncron i, en canvi, el C-V2X és una tecnologia síncrona, la qual cosa ofereix una major eficiència espectral perquè es genera menys sobrecàrrega a l'hora d'accedir a la xarxa.

Analitzant l'ample de canal i les modulacions suportades, l'IEEE 802.11p i el C-V2X Rel-14 tenen les mateixes característiques, però està planificat oferir més possibilitats per a futurs estàndards. D'altra banda, comparant la multiplexa-

ció de recursos, la codificació, les retransmissions i la forma de l'ona es pot concloure que el C-V2X és capaç d'oferir un major abast de servei o un major rendiment per al mateix abast que l'IEEE 802.11p

Així mateix, el fet que el C-V2X sigui capaç d'oferir SPS fa que s'optimitzi l'assignació de recursos en les aplicacions C-ITS de naturalesa periòdica, com és el cas de la majoria d'aplicacions de seguretat. Finalment, l'estàndard IEEE 802.11p no contempla l'ús de *multiple input multiple output* (MIMO), mentre que el C-V2X sí que ho fa, la qual cosa li permet oferir una eficiència espectral major.

Taula 1. IEEE 802.11p enfront del C-V2X: característiques ràdio

Característiques ràdio	IEEE 802.11p	C-V2X Rel-14/15	C-V2X Rel-16 (previst)
Sincronització	10/20 MHz	Rel-14 - 10/20 MHz Rel-15 - Nx20 MHz	10/20 MHz i banda ampla (40 MHz)
Multiplexació de recursos entre vehicles	Només TDM	TDM i FDM	TDM
Codificació de dades	Convulucional	Turbo	LDPC
Retransmissió HARQ	No	Rel-14/15 - sí Rel-15 - possible Comunicació ultrafiable	Sí, amb comunicació ultrafiable
Forma d'ona	OFDM	SC-FDM	Possiblement OFDMA, però hi ha moltes opcions possibles
Selecció de recursos	CS-MA-CA	Transmissió semipersistent amb <i>listen-before-talk</i> en el domini de la freqüència	Moltes opcions disponibles
Suport de MIMO	Suport no estandaritzat	Diversitat en recepció amb dues antenes Diversitat en transmissió amb dues antenes (possible)	Suporta fins a vuit antenes en tx/rx Obligatori dues antenes en tx/rx
Modulació	Fins a 64 QAM	Fins a 64 QAM	Fins a 256 QAM

Després d'analitzar les característiques ràdio, en la taula 2 es compara el funcionament tècnic. Aquesta taula mostra que a diferència del C-V2X, l'estàndard IEEE 802.11p està finalitzat i, per tant, a punt per a comercialitzar-se. També presenta que ambdues tecnologies compleixen els requisits de latència de les aplicacions C-ITS; no obstant això, pronostica que els retards de les tecnologies C-V2X seran inferiors als de l'IEEE 802.11p. A més, evidencia les limitacions de l'IEEE 802.11p en les comunicacions V2I/I2V, ja que és indispensable el desplegament d'una xarxa RSU, amb la corresponent inversió econòmica. Així mateix, la taula reflecteix que ambdues tecnologies funcionen sense assistència de la xarxa i ho fan en l'espectre ITS de 5,9 GHz. Finalment, mostra una característica crítica de l'IEEE 802.11p, que és la falta d'un camí d'evolució clara per al futur que li permeti competir amb 5G.

Taula 2. IEEE 802.11p enfront de C-V2X: funcionament tecnològic

Funcionament tecnològic	IEEE 802.11p	C-V2X Rel-14/15	C-V2X Rel-16 (previst)
Especificació completa	Completa	Rel-14 complet Rel-15 (2018)	2019
Comunicacions directes de baixa latència	Sí	Sí (Rel-14 4ms)	Sí (1ms)
Comunicacions amb la infraestructura	Sí	Sí	Sí
Funcionament sense assistència de la xarxa	Sí	Sí	Sí
Funcionament en l'espectre ITS de 5,9 GHz	Sí	Sí	Sí
Trajectòria evolutiva	No	Sí	Sí

Per a acabar la comparativa, en la taula 3 s'exposen els casos d'ús per als quals estan preparades les tecnologies avaluades i el rendiment que ofereixen. Aquesta taula evidencia que l'IEEE 802.11p i el C-V2X permeten oferir aplicacions de seguretat definides dins del conjunt de casos d'ús Day 1. A més, s'espera que el C-V2X Rel-15 permeti oferir aplicacions de seguretat millorada i que el C-V2X Rel-16 sigui capaç d'aconseguir els requisits de servei necessaris per a oferir conducció autònoma.

Aquesta taula també mostra que en els requisits de qualitat de servei, com el suport d'alta densitat de vehicles, alta mobilitat dels mateixos, abast i freqüència de transmissió, el C-V2X ofereix com a mínim la mateixa qualitat de servei o major que l'IEEE 802.11p. Tal com es dedueix de la taula 3, l'objectiu principal per als desenvolupadors de la tecnologia C-V2X és ser capaços d'oferir tots els casos d'ús que ofereix l'IEEE 802.11p i, a més, ampliar-ne encara més la funcionalitat. Per a acabar aquesta comparativa, a continuació s'exposen les raons per les quals es va triar dur a terme aquest treball sobre comunicacions C-V2X, que són les següents:

- Ofereix comunicacions V2V millorades en relació amb l'IEEE 802.11p. En futures versions, el C-V2X hauria de gairebé duplicar el temps d'alerta/reacció del conductor en comparació de la tecnologia IEEE802.11p.
- Facilita les comunicacions V2I i V2N en comparació de l'IEEE 802.11p. El C-V2X aprofita la infraestructura cel·lular que ja hi ha i evita la necessitat de construir una nova infraestructura IEEE 802.11p en carreteres. Aquesta capacitat d'aprofitar la infraestructura redueix els costos generals d'implantació.
- Aprofita el potencial dels operadors cel·lulars per a tenir un paper positiu en el desenvolupament i la promoció dels serveis C-V2X. Els operadors

cel·lulars tenen una àmplia experiència i capacitats en la gestió de serveis de telecomunicacions complexes en àrees extenses.

1.3. Sistemes de posicionament i de localització de vehicles (AVLS)

Si bé els sistemes de posicionament basats en satèl·lit s'han tornat molt populars a causa de l'alta penetració en el mercat, hi ha altres sistemes emprats en els actuals STI:

- **Sistemes de navegació inercials:** com ara acceleròmetres o giroscopis, que s'instal·len a l'interior del vehicle. Generalment són emprats juntament amb hodòmetres i mapes digitals.
- **Dispositius per a reconèixer la posició:** basats en càmeres, dispositius d'RF, etc. Són usats en transports de mercaderies (contenidors, palets, etc.) o vehicles que circulen per un recorregut predeterminat.
- **Sistemes basats en la identificació d'una cel·la** que emprant un sistema basat en la telefonia mòbil faci possible determinar-ne la posició.

L'anomenat GPS (*Global Positioning System*) és un sistema global de navegació per satèl·lit (GNSS) que permet determinar geogràficament la posició d'un objecte, una persona o un vehicle amb una precisió de fins a centímetres si s'utilitza un sistema de GPS diferencial.

DGPS

El sistema GPS diferencial ofereix als receptors de GPS correccions de les dades rebudes dels satèl·lits GPS, amb la finalitat de proporcionar una major precisió en la posició calculada. Per a això es disposa d'un receptor GPS fix que en coneix exactament la posició, i que rep la posició donada pel sistema GPS i pot calcular els errors produïts pel sistema GPS, comparant-la amb la seva, coneguda per endavant.

Taula 3. IEEE 802.11p enfront de C-V2X: casos d'ús i de rendiment

Casos d'ús	IEEE 802.11p	C-V2X Rel-14/15	C-V2X Rel-16 (previst)
Casos d'ús objectiu	Aplicacions de Day 1 Només seguretat	Aplicacions de Day 1 Seguretat i seguretat millorada	Casos d'ús avançat per a conducció autònoma
Suport d'alta densitat	Pèrdues de paquets a altes densitats	Pot garantir que no es perden paquets a altes densitats	Pot garantir que no es perden paquets a altes densitats
Suport d'alta mobilitat	Fins a velocitats relatives de fins a 500 km/h amb receptors avançats	Fins a velocitats relatives de 500 km/h com a requisit mínim	Fins a velocitats relatives de 500 km/h com a requisit mínim
Abast de transmissió (90% error, velocitat relativa 280 km/h)	Fins a 225 m (aproximadament)	Fins a 450 m en mode directe Grans distàncies per mitjà de la infraestructura cel·lular	Fins a 450 m en mode directe Grans distàncies per mitjà de la infraestructura cel·lular
Freqüència de transmissió habitual per a trànsit periòdic	Cada 100 ms (50 ms també és possible)	Cada 100 ms (20 ms és possible)	Suporta periodicitats de pocs ms

El GPS funciona mitjançant una xarxa de vint-i-quatre satèl·lits en òrbita sobre el planeta Terra, a 20.200 km, amb trajectòries sincronitzades per a cobrir tota la superfície de la Terra. Quan es vol determinar la posició, el receptor que s'utilitza localitza automàticament, com a mínim, tres satèl·lits de la xarxa, dels quals rep uns senyals indicant la identificació i l'hora del rellotge de cadascun. Sobre la base d'aquests senyals, l'aparell sincronitza el rellotge del GPS i calcula el temps que triguen a arribar els senyals a l'equip, i així mesura la distància al satèl·lit mitjançant «triangulació», que es basa a determinar la distància de cada satèl·lit respecte al punt de mesurament. Conegudes les distàncies, es determina fàcilment la posició relativa respecte als tres satèl·lits. Coneixent a més les coordenades o la posició de cadascun d'ells pel senyal que emeten, s'obté la posició absoluta o les coordenades reals del punt de mesurament. També s'aconsegueix una exactitud extrema en el rellotge del GPS, similar a la dels rellotges atòmics que porta a bord cadascun dels satèl·lits.

Figura 8. Sistemes GPS emprats per COOPERS, CVIS i SAFESPOT

	Coopers	CVIS	Safespot
General approach	Hybrid / Multi sensor	Hybrid / Multi sensor	Hybrid / Multi sensor
Satellite navigation	GPS (L1) / EGNOS / Galileo	GPS (I1 + L2) / EGNOS	GPS (L1) / EGNOS
On board sensors	Odometer Differential Odometer (all sensor information from CAN-Bus)	Accelerometer Gyroscope as sensor in the OBU 3-axis-IMU Compass Speed-sensor laser scanner (as external sensors)	Camera Laser scanner IMU (as external sensors) C2C communication (for relative GNSS)
Infrastructure	IR-transmitter	Wireless Sensor Network (loops, cameras, beacons) DGPS-augmentation map-matching	UWB communication
Data base	Location table for the IR-transmitter	Location table for WSN, I2V-transmitters cameras complete road database Extended map attributes lan mark database	Object database (for camera sensor) landmark database location table for UWB-transmitter complete road database
Cost estimation	100-300€	> 1.000 € (> 1.000 € for IMU)	> 1.000 € (> 10.000 € for IMU)

Font: D 4500-2: Evaluation of scientific test vehicle and achieved results (incl. section regarding the substitution of GPS with GALILEO)

Com hem vist, hi ha nombroses aplicacions que basen el funcionament en el coneixement de la posició dels vehicles, essent la gestió de flotes l'aplicació més estesa. Però si bé en aquest tipus d'aplicacions no és relativament important conèixer la posició exacta dels vehicles (un error d'uns metres és assumible en un sistema de gestió de flotes), sí que ho és en aplicacions més complexes destinades sobretot a l'àmbit de la seguretat.

Com a exemple i com a resultat dels treballs realitzats pels projectes CVIS, SAFESPOT i COOPERS a Stuttgart¹ i Berlín,² es recullen en la figura 8 els diferents sistemes de posicionament emprats en aquests projectes amb l'objectiu de millorar la precisió dels sistemes i, per tant, de les aplicacions derivades de la seva utilització.

⁽¹⁾CVIS-SAFESPOT-COOPERS – Joint workshop on positioning in Stuttgart Germany on 22nd and 23rd of January 2008

⁽²⁾Cooperative systems workshop in Berlin Germany on 10th and 11th December 2008

Bibliografia

Ministeri de Presidència, Govern d'Espanya (2012). Reial decret 662/2012. *Butlletí Oficial de l'Estat* (núm. 90, sec. I, pàg. 29.524).

Ministeri de Foment, Govern d'Espanya (2009). *Estrategia española de movilidad sostenible*.

Direcció general de trànsit (2012). Base de dades d'accidents amb víctimes a les carreteres d'Espanya.

Mayor of London (2006). «Transport 2015». *Transport Vision for a growing world city*.

IEEE (2013, desembre). IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications - Amendment 4: Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz. IEEE Std 802.11ac-2013 (Amendment to IEEE Std 802.11-2012, as amended by IEEE Std 802.11ae-2012, IEEE Std 802.11aa-2012, and IEEE Std 802.11ad-2012) (pàgs. 1-425). doi: 10.1109/IEEESTD.2013.6687187

Festag, Andreas (2015, novembre). *Standards for vehicular communication -from IEEE 802.11p to 5G. Elektrotechnik und Informationstechnik* (vol. 132, núm. 7, pàg. 409-416).

Hernández Jayo, Unai; Iglesia, Idoia de la; Pérez, Jagoba (2015). *Description and Validation of a Vulnerable Road User Alert System in the Framework of a Smart City. Sensors* (vol. 15, núm. 8, pàg. 18.480-18.505).

Ministeri d'Indústria, Energia i Turisme, Govern d'Espanya (2014). Resolució de 8 de juliol de 2014. *Butlletí Oficial de l'Estat* (núm. 180, sec. III, pàg. 59.624).

López Fernández, Sebastián (2017). «Implantación y Despliegue de DATEX II como Sistema Normalizado de Intercambio de Información entre Centros de Control de Tráfico en España». *S. G. de Gestión del Tráfico y Movilidad (DGT)*.

EasyWay. «DATEX II – The standard for ITS on European Roads», *DATEX II Brochure*. <www.datex2.eu>

Pàgines web [Data de consulta: març 2019]

http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/figures/trends_2030/index_en.htm

http://europa.eu/pol/trans/index_es.htm

http://www.urban-transport-roadmaps.eu/documents/urban_roadmaps_user_policy_roadmaps_v3.1.pdf

<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/current-shares-of-freight-transport-volume-tonne-km-by-mode-eu-25>

<https://local.iteris.com/arc-it/>

<https://www.ntcip.org/>

