



A V2X járműkommunikáció alapjai

**Petkovics Ármin¹, Szabó Csaba Attila¹,
Wipfelhauser András¹, Varga Norbert¹, Bokor
László¹**

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

E-mail: petkovics@hit.bme.hu, szabo@hit.bme.hu, wipfelhauser@hit.bme.hu,
vnorbert@hit.bme.hu, bokorl@hit.bme.hu

DOI: [10.36246/UL.2020.2.01](https://doi.org/10.36246/UL.2020.2.01)

KIVONAT

A cikk a kooperatív intelligens közlekedési rendszerek (C-ITS) jármű-jármű és jármű-infrastruktúra vonatkozásában alkalmazott kommunikációs megoldások alapvető jellemzőivel foglalkozik. A gyűjtőnéven V2X-ként (Vehicle-to-Everything) nevezett technológiacsoport elsődleges célja a közlekedés biztonságosabbá és gazdaságosabbá tétele. A V2X-alkalmazások fejlesztését segíti a szabványos C-ITS kommunikációs architektúra, ennek ismertetése képezi az írás gerincét. A szerzők részletesen taglalják a C-ITS architektúra feladatait és szolgáltatásait, a menedzsment és biztonság rétegek jellemzőit, valamint a képességek réteg speciális megoldásait. A cikk célja, hogy a távközlési világból származó rétegszerkezet és az alapvető fogalmak bevezetésével közelebb hozza az olvasó számára a V2X járműkommunikációs technológiákat, áttekintse a már bevezetett, tudatos vezetést segítő C-ITS alkalmazásokat, és felvázolja a közeljövőben bevezetésre kerülő szenzor alapú érzékelésekre alapuló vezetést, majd a kicsit távolabbi jövőt jelentő kooperatív és szinkronizált kooperatív vezetést alkalmazásait, a rájuk építhető szolgáltatásokat, valamint a bennük rejlő távlati lehetőségeket.

Kulcsszavak: járműkommunikáció, V2X, C-ITS, tudatos vezetést, érzékeléseken alapuló vezetést, kooperatív vezetést

ABSTRACT

The paper introduces the basics of vehicle-to-vehicle and vehicle-to-infrastructure communication technologies of cooperative intelligent transport systems (C-ITS). The primary objective of this technology group, often called by the collective name V2X (Vehicle-to-Everything), is to help to enhance the safety and economic efficiency of our transportation systems. The paper focuses on the standardized C-ITS communication architecture that supports the development of V2X applications. The tasks and services of the specific architectural layers, such as the management, security, applications, facilities, transport, network and access layers, are dealt with in detail as the paper aims to make the reader familiar with the V2X paradigm by introducing the layered architecture well known from the telecommunications world. The authors also overview the already deployed applications supporting conscious driving and future applications supporting driving based on extensive sensor information sharing, and cooperative and synchronized driving applications relying on intention and coordination data exchange.

Keywords: vehicular communications, V2X, C-ITS, conscious driving, sensing-based driving, cooperative driving

Petkovics Ármin

Műszaki informatikus Msc diplomáját a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerezte meg 2013-ban. Ugyanettől az évtől a BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszékének oktatója

számítógép hálózatok és médiainformatika témakörökben. Kutatási területei az okos városok és szolgáltatásaik köré csoportosulnak és magukban foglalják az adatgyűjtést megvalósító mobiltelefonos közösségi érzékelést és a városi közúti közlekedés optimalizálását. A 2012-ben a reggio calabriai Mediterrán Egyetem, 2018-ban pedig a trentói Fondazione Bruno Kessler vendégkutatója volt. A Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület tagja és Ifjúsági Tanácsának vezetője 2009 óta: konferenciáin több évig az Ifjúsági Szekció szervezője, HTE Ezüst- és Aranyjelvény kitüntetettje, illetve a HTE Távközlési Klub szakmai rendezvénysorozat szervezője.

Prof. Dr. Szabó-Csaba Attila

Rádiómérnök MSc-diplomáját a Szentpétervári Állami Távközlési Egyetemen, Dr. Univ. és PhD-fokozatát a BME-n szerezte meg, az MTA-tól a műszaki tudomány doktora címet nyerte el. A BME-n létrehozta és vezette a MEDIANETS Laboratóriumot. Az 1990-es évek elején a Business Communications Networks amerikai-magyar hálózatintegrátor cég társalapítója és 2002-ig vezetője volt. 2000-2002-ben a Magyar Telekom divízió-igazgatójaként is tevékenykedett. 2002-2003-ban az olaszországi Trentino tartomány elnöki tanácsadójaként részt vett a régió optikai-rádiós hálózati infrastruktúrájának tervezésében. 2003 és 2010 között a Create-Net nemzetközi kutatóközpont főmunkatársaként EU- és olasz kutatási projektek vezetése mellett irányította egy innovatív városi szélessávú teszthálózat kialakítását. Sok éven át a HTE Híradástechnika folyóiratának főszerkesztője és az Infocommunications Journal alapító főszerkesztője volt. Puskás Tivadar- és Gábor Dénes-díjas, a Magyar Érdemrend Lovagkeresztje kitüntetés birtokosa. Jelenleg a BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások tanszékének professzor emeritusa.

Wipfelhauser András

BSc tanulmányait 2014 és 2018 között végezte a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen Mérnök-informatikus szakán és infokommunikáció specializációján. Szakdolgozatát a MEDIANETS laborban írta, Kooperatív járműkonvojok algoritmusait befolyásoló V2X kommunikációs paraméterek szimulációs vizsgálata témában. 2017 őszi szemeszterében külföldi részképzésben az Erasmus+ program keretein belül a lisszaboni NOVA IMS Information Management School intézményben tanult. 2018 és 2020 között a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen Mérnök-informatikus MSc képzésén szerzett diplomát. Diplomamunkájában a C-ITS rendszerek szolgáltatásminőségét befolyásoló V2X kommunikációs paraméterek szimulációs vizsgálatát végezte el. 2018 óta dolgozik a Commsignia Kft vállalatnál -2020 áprilisa óta kutatómérnök pozícióban-, amely a V2X technológia területén világszínvonalú kompetenciával bír. 2020 szeptemberében kezdte meg PhD tanulmányait a BME Informatikai Tudományok Doktori Iskolájában.

Varga Norbert

2014-ben szerzett diplomát a BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar mérnök informatikus szakán, alkalmazott informatika szakirányon Ezt követően a BME Informatikai Tudományok Doktori Iskolájában, a Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszékén kezdte meg a doktori képzést, melyen 2018-ban abszolutóriumot szerzett. Jelenleg tudományos segédmunkatársként dolgozik a tanszéken. Főbb kutatási területei az infokommunikációs hálózatok és jövőbe mutató távközlési megoldások. Kutatási témái között szerepel a heterogén, elosztott, dinamikus és proaktív mobilitás-kezeléssel támogatott, skálázható mobil architektúrák, a járműkommunikáció, a dolgok internete (IoT) és az intelligens környezetek konvergenciájához kötődő technológiák. Az elmúlt években a kutatási tevékenysége a hybrid/heterogén V2X kommunikációs (ITS-G5 + 4G/5G celluláris) architektúrákra és szolgáltatásokra fókuszált a rádiós infrastruktúra tervezéstől egészen az járműkommunikációs alkalmazások fejlesztéséig. Számos ehhez a területhez kapcsolódó hazai és nemzetközi ipari K+F projekt tagja. Tagja a HTE és ITS Hungary egyesületeknek. Eddigi tudományos munkásságát és eredményeit Csibi Sándor ösztöndíjjal és az Új Nemzeti Kiválóság Program doktorjelölti ösztöndíjával ismerték el.

Dr. Bokor László

2004-ben szerezte mérnöki diplomáját a BME Villamosmérnöki Karának Műszaki Informatika Szakán. A BME Informatikai Tudományok Doktori Iskolájába az Ericsson HSN Laboratory Ph.D. ösztöndíjasaként nyert felvételt, 2014-ben doktorált. A Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék Mobil Kommunikáció és Kvantumtechnológiák Laboratóriumának és a Mobil Innovációs Központnak a tagjaival számos hazai és európai uniós projekt munkájában vett részt, előbb kutatóként, majd hazai

kapcsolattartóként és munkacsomag vezetőként. IEEE tag, tagja a MEDIANETS Laboratóriumnak, a Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesületnek, az ITS Hungary Egyesületnek, és a Magyar Szabványügyi Testület Intelligens közlekedési rendszerek Műszaki Bizottságának. A BME-n tanít, a tanszéken működő járműkommunikáció kutatócsoport vezetője, a Mobilitás Platformban a hálózatba kapcsolt járművekkel foglalkozó munkacsoport irányítója, számos oktatási anyag, könyvfejezet, folyóiratcikk, és konferencia-kiadványban megjelent cikk szerzője ill. társszerzője. Szakmai tevékenységét a Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület 2013-ban HTE Ezüst Jelvénnnyel, 2015-ben Pollák-Virág díjjal, 2018-ban Arany Jelvénnnyel ismerte el. 2016-ban az Új Nemzeti Kiválóság Program felsőoktatási posztdoktori kutatói ösztöndíjjal jutalmazta, 2018-ban a járműkommunikáció területén folytatott oktatási és kutatási tevékenységéért dékáni dicséretben részesült.

1. BEVEZETÉS

Az elektronika és a távközlés fejlődésével az érzékelésen alapuló vezérlő és beavatkozó rendszerek hihetetlen sebességgel kezdtek terjedni, és az 1970-es évektől kezdődően a közúti járműveket is fokozatosan ellepték a mikro-elektromechanikai megoldások (microelectromechanical systems, MEMS), és általuk eljött a multifunkcionális, kis hatótávú és kisméretű szenzorokra támaszkodó rendszerek világa. Törték a nagy hőingadozást és a rezgéseket, ezáltal gépjárművekbe történő beépítésre is alkalmassá váltak: kezdetben a meghajtott tengely forgási sebességét (és ebből a jármű sebességét) mérték vele, valamint az olaj és hűtővíz hőmérsékletét. Ma már egészen extrém és sokféle felhasználási módjuk ismert, a hangsúly pedig eltolódott az alapfunkciók támogatása felől a biztonsági- és komfortfunkciók irányába.

A biztonsági funkciók egy ideje már nem számítanak luxusnak, hanem kötelező elemei lettek a közúti járműveknek: 2004 óta minden EU-ban forgalomba állított autóban kötelező blokkolásgátlót alkalmazni (Anti-lock Braking System, ABS), ugyanitt, 2014 óta az ESP menetstabilizáló (Electronic Stability Program) is kötelező alapfelszereltség. Gondoljuk csak végig: az ABS működéséhez minden keréknél szükség van egy-egy szenzorra, ami figyelni azt, hogy fékezéskor blokkol-e a kerék, az ESP-nél pedig minden kerékhez kell egy forgássebesség-szenzor, egy giroszkóp-gyorsulásmérő páros az oldalirányú gyorsulás érzékelésére, valamint még egy szenzor, ami a kormányszögállást érzékeli. De ezeken kívül is rengeteg, az autókban már most is széles körben használt szenzorokat sorolhatunk fel: lambdaszenzor az üzemanyag-levegő keverék arányának beállítására, esőszenzor az automatikus ablaktörléshez, külső és belső hőmérsékleti szenzorok, melyek figyelmeztetnek, ha kinn fagyponthoz közelre süllyed a hőmérséklet, illetve egészen komfortosan, fél fokos pontossággal állítják be a vezetői fülke hőmérsékletét. Újabban az ultrahang- és kamerarendszerek, valamint a RADAR (Radio Detection and Ranging) és LIDAR (Light Detection and Ranging) alapú megoldások is egyre elterjedtebbek. Az ultrahangos érzékelés pl. a parkolásnál segít, illetve a kamera alapú megoldásokkal együttműködve automatikus távolság- illetve sávtartást tesz lehetővé. Természetesen ez azzal jár, hogy szükség esetén gyorsítja vagy lassítja az autót, tehát már „beleszól” annak közvetlen irányításába is. A kamerarendszer is besegíthet parkolásnál, de szabad parkolóhelyek keresésére is alkalmas. A RADAR-ra, LIDAR-ra és kamerákra alapozó vezetéssegítő, -támogató és kényelmi rendszereket ADAS-alkalmazásoknak nevezik (Advanced Driver Assistance Systems). Ezek a rendszerek a járművek autonóm, azaz önálló mozgása irányába mutatnak: az önvezetés természetesen itt még nem teljes, de a cél az, hogy a szenzorokkal nagy biztonsággal kezelhető helyzetek megoldásának terhére levegyék a sofőrök válláról.

Az autókba telepített szenzorokat alapvetően két típusra oszthatjuk. Az egyik csoportba tartozók az autó alkatrészeinek állapotát monitorozzák, az autó üzemeltetését segítik: visszajelzést adnak annak állapotáról. A környezeti érzékelők a vezetéssegítő rendszert látják el információval, a környezet megfigyelésére összpontosítanak: sávjelzéseket értelmeznek, időjárás paramétereit gyűjtik, közelben közlekedő autót észlelnek, mérik azok gyorsulását, stb. Vannak viszont olyan helyzetek, ahol szenzorokkal együtt sem tud egy autó biztonságosan áthaladni. Ilyen például egy beláthatatlan kereszteződés: nincs ugyanis több releváns információja egy emberi sofőr által begyűjthetőnél, hiszen a

szenzor sem tudja, hogy mi van a „kanyar mögött”, a legmodernebb megoldások sem látnak át házakon. Viszont, ha van autó a kanyarban, akkor az akár „szólhatna” is arról, hogy érkezik, és mi nem mennénk ki elé: megszületik tehát az igény a kommunikációra. Ha egy autó nem is tud mindent az útszakasról, többen, kooperatív módon együttműködve, az adatforrásaikat (szenzoradataikat) megosztva egészen pontos képet alakíthatnak ki az útszakasz állapotáról, forgalmáról, jellemzőiről. Ez a V2V, azaz Vehicle-to-Vehicle, autók közötti kommunikáció, amely a járművek együttműködésével hoz létre kooperatív tudatosságot: minél több forrás, annál több és megbízhatóbb a leszűrt információ mennyiség. Azonban míg a járművek egymás közötti „beszélgetése” megoldhatja a helyzetet bizonyos szituációkban, addig más esetekben be kell vonni az infrastruktúrát is, pl. a közlekedési lámpákat, meteorológiai állomásokat, változtatható jelzéseképű táblákat, mivel az útinfrastuktúra üzemeltetője olyan információkat birtokolhat, melyeket nem lehet előre jelezni, melyeket nála pontosabban senki sem tudhat. Itt válik szükségessé a V2I és I2V (Vehicle-to-Infrastructure, és fordított irányban), tehát az infrastruktúra-jármű vagy jármű-infrastuktúra kommunikáció. Mindennek az összefoglaló neve a napjainkban már ismerősen csengő V2X (Vehicle-to-Everything) vagy C2X (Car-to-Everything), azaz járművek kommunikációja „minden mással” (Zhou et al., 2020). A magas szintű kooperáció eredménye pedig a kooperatív intelligens közlekedési rendszerek (Cooperative Intelligent Transport Systems, C-ITS) ökoszisztémája, melyben a járműkommunikációs infrastruktúrára épülve a fejlett szolgáltatások széles skálája biztosítható (Hamilton, 2016).

2. A JÁRMŰKOMMUNIKÁCIÓ CÉLJAI ÉS KIHÍVÁSAI

A V2X lehetővé teszi, hogy az autók együttműködjenek az útinfrastuktúra és/vagy a város közlekedésirányításával, valamint más járművekkel, így optimalizálva, és persze elsősorban *biztonságosabbá* téve a közlekedést. Az autó vezetőjének információja lesz a nem belátható területekről érkező veszélyekről, eseményekről, döntéseit így lépésről lépésre segítik a járműkommunikációs rendszerek.

Régóta léteznek már olyan megoldások, melyek mobiltelefonos applikáció formájában jeleznek a sofőrnek az útvonalon várható eseményekről, kátyúkról, balesetekről: ilyen például a jól ismert Waze alkalmazás is (Waze, 2020). A V2X viszont többet kínál: a Waze frissítési ideje nem versenyezhet a V2X milliszekundumos késleltetésével: éles szituációkban, ütközés-elkerülésnél a Waze, vagy más, applikációba ültetett közlekedést segítő rendszerek nem versenyképesek, és nem is ez a céljuk. Amit tehát szeretünk a Waze-ben, azt a V2X alapból tudja majd támogatni, és nem csak informáló-segítő alkalmazásként, hanem biztonságkritikus döntési helyzetekben is megállja a helyét. A járműkommunikáció elsődleges célja tehát a biztonság, a közúti halálesetek és alapvetően a balesetek visszaszorítása. Ebből adódik, hogy a Waze-jellegű alkalmazásokkal ellentétben a V2X-ben nem feltétlenül követelmény az információt hordozó csomagok nagy távolságokra való elküldése: a közvetlen, viszonylag kis hatótávolságú, elosztott kommunikációra hatékonyan építhetők a biztonsági alkalmazások.

A biztonságon felül a takarékoság is motiválja a V2X kommunikációra épülő szolgáltatások bevezetését: a szenzorok által egyformán nagyon gyors „reakcióidővel” rendelkező autók, teherautók konvojban, gyorsan, egymáshoz nagyon közel haladva spórolhatnak rengeteg üzemanyagot a légellenállás okozta veszteségek minimalizálásával.

További célok közt lehet említeni a real-time multimédiás alkalmazásokat, a dugók elkerülését, a károsanyag-kibocsátás csökkentését is, tehát sok olyan szolgáltatást, amit az okos város koncepció is megcéloz: ehhez a V2X megfelelő eszköznek bizonyul.

A V2X fejlesztések előremutató célterülete az önvezető járművek támogatása és széleskörű alkalmazhatóságuk, elterjedésük segítése. Az autonóm járművek jelenleg elérhető változatai ott tartanak, hogy az emberi vezetőt próbálják gépekkel emulálni: szenzorokkal látnak, hallanak és érzékelnek, az aktuátorok (beavatkozók) pedig helyettesítik az ember reakcióit (pl. elektromos működtetésű hidraulikus kormányrészegység, elektromechanikus fékrendszerek, stb.). Viszont ahogyan a beláthatatlan kanyarnál is említettük: az emberi sofőr emulálásával és szenzorokkal/beavatkozók

történő helyettesítésével csak maximum egy emberhez hasonló módon érzékelő szerkezetet fejlesztünk. A V2X-szel viszont jóval több információ biztosítható az autonóm működéshez, megalapozottabb döntéseket hozhat az önvezető jármű, melyekhez az összes közlekedő és maga az infrastruktúra is hozzájárulhat az információi megosztásával (Edwards, 2015). Így létrejöhet a kooperatív tudatosság, melyre alapozva komplex szolgáltatások és alkalmazások építhetők fel.

A célkitűzések között a felhasználási területek és a hozzájuk kapcsolódó alkalmazások továbbfejlesztése mellett fontos megemlíteni egy világszinten szerveződő mozgalmat, a Vision Zero-t (Vision Zero, 2020): célja hosszabb távon minden emberi hibalehetőség kizárása a közlekedésből, ezzel a balesetek és halálesetek nullára csökkentése és a közlekedési dugók elkerülése. Utóbbit a közlekedni kívánók, illetve az őket szállító (autonóm) járművek tökéletes informáltságával tervezik elérni. Mindez természetesen a környezetet is pozitívan érinti majd: városoként évente több milliárdnyi felesleges dugóban töltött óra gazdasági hátrányt okozó hatása és felesleges károsanyag-kibocsátása is megtakaríthatóvá válhat.

Az Európai Unió is hasonló törekvéseket fogalmazott meg: az aktuális célkitűzés szerint 2030-ra 40%-al kell csökkenteni a gazdaságok kibocsátását az 1990-es szinthez képest (EC, 2014).

Természetesen a szabványosítás és a kezdeti megvalósítások során már előjöttek a technológia kihívásai is, amikkel meg kell birkózni. Ilyen például az autók közötti nagy relatív sebesség, amely elsősorban autópályákon jelentkezik: két szemben haladó jármű viszonylagos sebessége 2-300 km/h is lehet. Ebből eredően a topológia is nagyon gyorsan változhat, a szemben haladó autók nagyon rövid ideig vannak egymás „hatótávolságában”, így az üzenetek továbbítása ebbe a rövid időbe kell, hogy beleférjen, vagy alternatív megoldást kell kifejleszteni egy hatékonyabb, ad-hoc szerveződő hálózati struktúra formájában. A túlzottan sok kommunikáló eszköz is lehet gond: dugóban állva, ha mindenki csak periodikusan küld magáról információkat, az is a rádiós/hálózati közeg túlterheléséhez vezethet. Ilyen esetben viszont nagy újdonságértékkel sem rendelkezik az, hogy az autó még mindig ugyanazon az útszakaszon vesztegel, tehát érdemesebb ritkábbra venni a jelzéseit vagy eseményvezérelté tenni: elindulás, dugóból kiszabadulás esetére például. Az ilyen és ehhez hasonló kihívásokat tartalmazó komplex igényrendszert (Karagiannis et al., 2011; Wymeersch et al., 2015) kell tudnia kezelni a kooperatív intelligens közlekedési rendszerek architektúráinak, a megvalósítandó járműkommunikációs szolgáltatási rendszereknek.

Cikkünkben áttekintjük a C-ITS architektúra alapvető jellemzőit, és a telekommunikációs iparból származó rétegszerkezet-alapú csoportosításban tárgyaljuk azokat a legfontosabb építőelemeket, melyek nélkülözhetetlen infrastruktúra-összetevőként minden bizonnyal jelentős hatással lesznek közlekedésünk jövőjére.

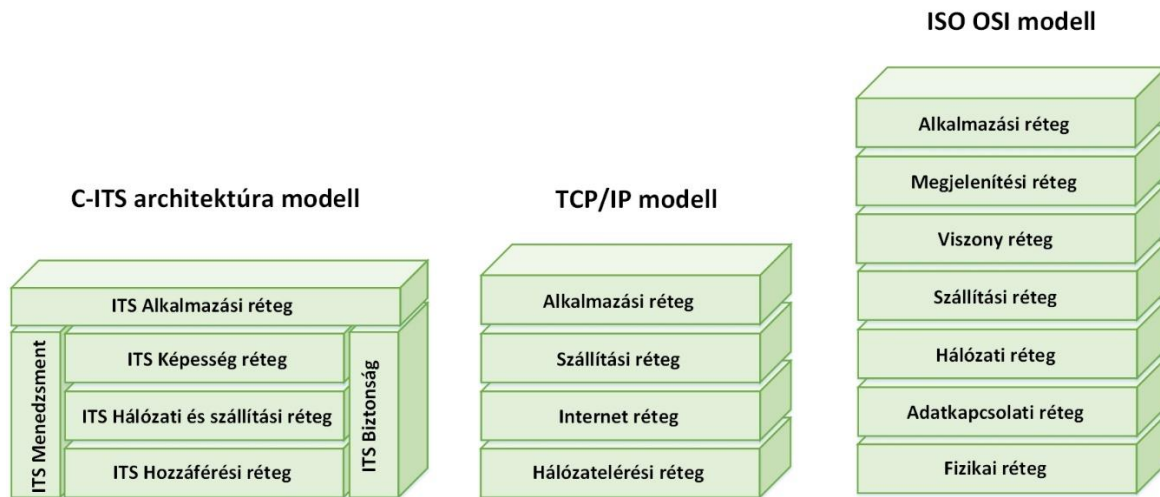
3. A C-ITS ARCHITEKTÚRA

A C-ITS kommunikációs architektúra már több mint tíz éve szabványosítás alatt van, kisebb kiegészítéseket kap még, de alapvetően letisztult és stabil (1. ábra) (ETSI 302 665, 2010). Érdemes összehasonlítani az internet működésének alapjául szolgáló, a hálózati számítógépek kommunikációjához definiált TCP/IP protokoll-hierarchia szerkezetével vagy az ISO OSI szabvánnyal (ISO / IEC 7498-1, 1994): a C-ITS-ben vannak vertikális rétegek is. Ezek a *Biztonság réteg (ITS Security Layer)* és a *Menedzsment réteg (ITS Management Layer)*: nem csak a közvetlen felettük vagy alattuk lévő réteggel vannak direkt összeköttetésben, hanem mindegyikkel: ez javítási lehetőségeket rejt magában a rétegek közötti (cross-layer) optimalizáció (Karagiannis et al., 2011) révén és integrált biztonsági mechanizmusok megvalósítására is hatékony eszközöket biztosít.

További hasonlóság az OSI-rétegszerkezettel, hogy mindkettőben megtalálható a közeghozzáférési (ITS Access Layer), a hálózati és transzport (ITS Network and Transport Layer) valamint az alkalmazási réteg (ITS Applications Layer). A C-ITS-architektúrában azonban megjelenik egy új, ún. *Képesség réteg (ITS Facilities Layer)* is. Ez a réteg arra szolgál, hogy a C-ITS/V2X-alkalmazások speciális igényeit közvetlenül, speciális C-ITS fókuszú képességekkel ki lehessen elégíteni. Ilyenek például a kooperatív tudatosságot előidéző üzenetváltások: periodikus- és eseményvezérelt információadás a közlekedésben

részt vevő komponensek állapotáról, amit a többiek elfognak és az alapján tudnak reagálni, illetve a hordozott információkat be tudják építeni a „világképükbe”.

A következőkben áttekintjük a C-ITS protokoll-hierarchia és szabványos kommunikációs architektúra fentebb felsorolt alapvető rétegeit, fontosabb jellemzőiket és feladataikat, a közegehozzáféréstől az alkalmazási rétegig bezárólag.



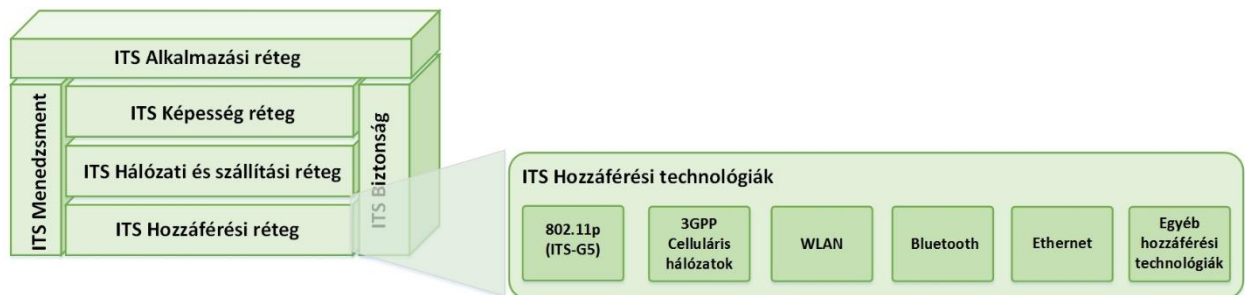
1. ábra. A C-ITS-architektúra összehasonlítása a TCP/IP és az ISO OSI rétegszerkezetekkel.

3.1. ITS HOZZÁFÉRÉSI RÉTEG (ITS ACCESS LAYER)

Transzparens réteg, felcserélhetőek benne a Wi-Fi alapú, Bluetooth-os, cellás és vezetékes hozzáférési módok (2. ábra). Az aktuális C-ITS telepítési és továbbfejlesztési erőfeszítések a rendelkezésre álló rádiós hozzáférési technikákon alapulnak. Ezek az IEEE 802.11p/ETSI ITS-G5 (röviden ITS-G5) (ETSI 302 663, 2020), valamint a 3GPP mobil celluláris hálózatainak (3GPP, 2020) harmadik és negyedik generációi (3G és 4G cellás technológiák). Ebben a jelenleg elérhető kombinációban az ITS-G5 megoldás adja a rövid hatótávolságú, ad-hoc hálózati technikákra épülő kommunikációs technológiát, melyet kiegészítenek a nagy hatótávolságú 3G/4G mobil celluláris rendszerek. Az IEEE 802.11p szabvány (IEEE Std 802.11TM-2016, 2016) használatos leginkább az aktuális pilot projekteknél (pl. EU C-ROADS (C-ROADS, 2020), US Connected Vehicle Test Bed (Connected Vehicle Test Bed, 2020)), ennek megfelelő 5,9 GHz-es frekvenciatartomány (ETSI 302 571, 2017; Kenney, 2011) és a definiált működés használatos a világ legnagyobb részén, néhány kivétellel (Japánban 700 MHz a kijelölt sáv, illetve Kínában inkább celluláris megoldásokat tesztelnek). Ez a szabvány hasonló az otthoni használatra szánt Wi-Fi-hez, de nem az ISM (Industrial, Scientific, Medical) szabad frekvenciasávjában működik, hanem engedélyköteles sávban. Napjainkra már kiforrott, „automotive grade” szintű, vagyis megkezdődött a járművekben való alkalmazásuk (pl. a 2019-ben megjelent Volkswagen Golf 8 modell esetén). Az 1980-as években megkezdett C-ITS kutatási munka 2008-ban ért oda, hogy az Európai Bizottság kijelöljön egy 30 MHz-es tartományt (5875 - 5905 MHz az 5,9 GHz-es frekvenciasávon belül a biztonsággal kapcsolatos ITS-alkalmazásokhoz (EC/2008/671) (2008/671/EC, 2008). 2013-ban került kiadásra az első, valós telepítéseken végzett teszteken alapuló ITS-G5 európai szabványcsalád, melyre támaszkodva napjainkban már off-the-shelf termékek és éles környezetben használható C-ITS-rendszerek érhetők el világszerte.

A 802.11p alapú C-ITS közegehozzáférés hatótávolsága ~800–1600 méter a rádiós és földrajzi viszonyoktól függően. Ezen távolságon belül rengeteg autó feltorlódhat, így nagyon fontos, hogy a haladási sebességtől függően adaptívan szabályozzuk a „levegőben lévő” csomagok számát, mivel a rádiós erőforrás egyrészt telítődhet, másrészt viszont egy lassan haladó járműről értelemszerűen nem ad több hasznos információt az, ha másodpercenként többször is jelent magáról, mintha lassú haladás esetén mindezt csak másodpercenként tenné meg. Ez az adaptív változtatás a közegehozzáférési réteget érinti, de az ITS Management vertikális rétege segítségével kivitelezhető megfelelő gyakorisággal és

megfelelően rövid idő alatt. Szintén flexibilitást követel meg az egyéb, 5 GHz-es sávban működő alkalmazásokkal való együttélés: több helyen (pl. Olaszország, Ausztria) az autópálya-fizetőkapuk egy része az 5795 MHz – 5815 MHz sávban működő DSRC-technológiákat alkalmazza (ECC Report 250, 2016), ami potenciális interferencia-lehetőség a C-ITS 5855 MHz – 5925 MHz sávjával. Így a V2X átvitelt használó járműveknek észlelniük kell, ha ilyen kapuhoz közelednek, és vissza kell venniük ezen időszakban az adási teljesítményükből (ETSI 102 792, 2015). Ezzel a hatótáv, vagyis az a távolság „ameddig ellátnak”, csökken, de ez nem jelent különösebb gondot, hiszen a kapuknál egyébként is lassítaniuk kell. Nem meglepő módon ebben is a vertikális Management réteg működik közre.



2. ábra. A C-ITS architektúra Hozzáférési rétege.

A hozzáférési technológiák fejlődése természetesen még nem zárult le: a Wi-Fi megoldások közé tartozó IEEE 802.11p, ennek továbbfejlesztése az IEEE 802.11bd és a 3GPP celluláris LTE-V2X illetve az 5G megjelenő megoldásai is versenyeznek, és itt elsősorban a gyártók csapnak össze. A celluláris hálózatokat fejlesztők már nehezen indokolják az újabb mobil hozzáférési generációk bevezetését, de a járműkommunikáció egy kiváló használati eset, megfelelő motiváció. Itt már nem az a cél, hogy 100 Mbit/s fölé vigyék a letöltési sebességeket (bár ez is megtörténik), hanem az, hogy a késleltetést csökkentsék milliszekundumos nagyságrendre, és ennek az ingadozását minimalizálják: real-time közeli alkalmazásoknak ugyanis elsősorban erre van szükségük. Éppen ezért a további szabványosítási munkák során elkezdtek egységesíteni az LTE-V2X technológiát is (3GPP 36.885, 2016) (ETSI 123 285, 2020), valamint folynak az 5. generációs celluláris hálózatok (5G) és a 802.11bd kutatási-fejlesztési munkálatai is (Ganesan et al., 2019; Naik et al., 2019; Zhou et al., 2020). Azonban az ITS-G5 és a C-V2X (celluláris V2X, 4G és 5G technológiákra alapulva) közötti átjárhatóság továbbra is problémát jelent. Így egy jármű, ami csak ITS-G5-tel van felszerelve, további harmonizálási erőfeszítések nélkül nem fog tudni kommunikálni egy olyan járművel, ami csak LTE-V2X vagy 5G C-V2X technológiával van felszerelve. Éppen ezért az alábbi megfontolások kiemelkedő jelentőségűek (ASECAP Position, 2018; C-ROADS Position, 2018):

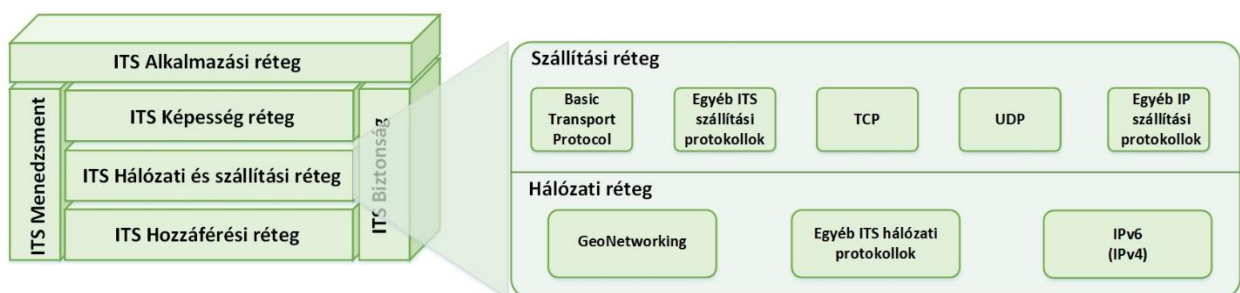
- Az átjárhatóság az ITS-G5 és az újabb celluláris C-ITS hozzáférési technológiák között elengedhetetlen. Az emberi élet védelme elsődleges prioritás és ebbe nem fér bele az a tény, hogy azért alakult ki baleset, mert a járművek nem tudtak egymás között kommunikálni, vagy mert egy RSU nem volt képes kommunikálni átjárhatósági probléma miatt.
- Az úthálózatok üzemeltetőit nem szabad arra kényszeríteni, hogy két vagy több egymással versengő hozzáférési technológiával ellátott RSU-kal legyenek felkészülve, amelyek a hozzáférési technológiától függetlenül ugyanazt a használati esetet szolgálnák, vagy azonos szolgáltatást biztosítanának a vezetőknek/autonóm járműveknek.
- Az 5G felé irányuló celluláris mobil hálózati szabványok fejlődése várhatóan tovább javítja a nagy hatótávú kommunikációt (például a lefedettség javítását és a jelátviteli hatékonyságot), hozzájárulva egyúttal a hibrid kommunikációs rendszer javításához és kiegészítve a rövid hatótávolságú kapcsolatot is.

- A visszafelé kompatibilitás (backward compatibility) megközelítését mindenképpen követni kell, vagyis az új, Day-1 szintet meghaladó C-ITS-eszközöknek támogatniuk és továbbra is biztosítaniuk kell a már telepített C-ITS-szolgáltatásokat és -alkalmazásokat.
- Az LTE-V2X- és jövőbeli 5G-technológiáknak nem szabad károsan befolyásolniuk az ITS-G5 használhatóságát, az együttműködésre, együttélésre kell törekedni.
- Az úthálózatok üzemeltetőinek szabadon kell tudniuk dönteni arról, hogyan lehet a hibrid kommunikációs megközelítésen keresztül biztosítani az összeköttetést, beleértve minden jövőbeli járműkommunikációra alkalmas megoldást is.

3.2. ITS HÁLÓZATI ÉS SZÁLLÍTÁSI RÉTEG (ITS NETWORK AND TRANSPORT LAYER)

Ahogy a 3. ábra is mutatja, az ITS hálózati és a szállítási rétegei (ETSI 302 636-3, 2014; ETSI 302 636-5-1, 2019) az OSI-modellben megszokott módon épülnek egymásra. Az internet világában a hálózati rétegben az IP (Internet Protocol) végzi a címzés és az adatsomagok útvonalirányításának alapvető feladatait. A C-ITS világában is felmerül az internetes (IP-alapú) erőforrások elérésének szükségessége (Jeong, 2020). Itt már kizárólag az IPv6 (Internet Protocol version 6) használatára kell a jövőben számítani a járművek nagy száma miatt, de az elsődleges, közlekedésbiztonsági (safety-) alkalmazásokkal kapcsolatban az IP a megoldások/telepítések első hullámából mégis kiszorul. Ennek legfontosabb oka, hogy a biztonsági alkalmazások esetén az IP alapú kommunikáció túlzottan nagy terhelést (overhead-et) eredményezne az átviteli késleltetés és a sávszélesség paramétereiben egyaránt, így az IP-t (valamint a rá épülő transzport rétegbeli megoldásokat) ilyen esetekben nem érdemes alkalmazni, speciális megoldásokra van igény.

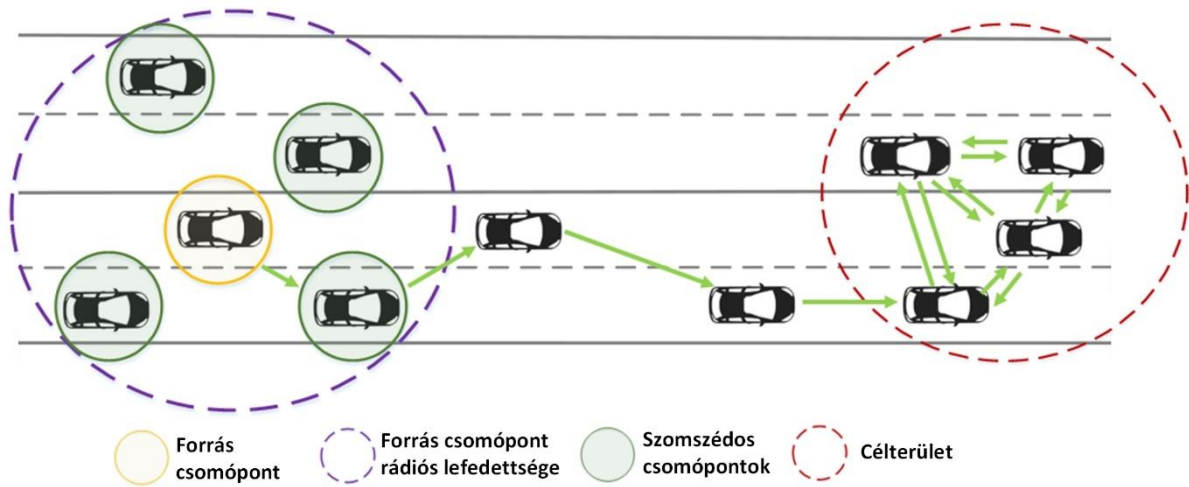
Nagyon fontos az ITS hálózati rétegében, hogy tudjunk földrajzi alapon is címezni, például a mögöttünk lévő öt kilométer hosszú útszakaszon közlekedőket, vagy a városban egy adott kereszteződés adott sugarú környezetében lévőket. Ez egy releváns alkalmazási igény a járműkommunikációnál: ha például érzékeltünk egy úthibát vagy az előrehaladást befolyásoló tényezőt, akkor azt a mögöttünk haladóknak kell tudniuk, aki már túl van rajta, azt kár terhelni az üzeneteinkkel. Ezt az IPv6 alából nem tudja. IPv6-ban multicast van, ami csoportcímezést végez, de továbbra is IP-címek alapján működik. Kell tehát a geografikus címzés és útvonalirányítás (addressing és routing), amit a GeoNetworking speciális V2X hálózati rétegbeli protokolljának a feladata.



3. ábra. A C-ITS architektúra Hálózati és szállítási rétege, valamint főbb protokolljaik.

A GeoNetworking leggyakoribb felhasználása az egyetlen ugrást megengedő single hop broadcast (SHB), és a multihop megoldást képviselő geobroadcast (GBC), azaz a téglalap, kör vagy ellipszis választható alakú és felparaméterezhető célterületeken belül tartózkodók megcímezése (4. ábra). A terület általában nagyobb vagy messzebb van, mint a V2X közeghozzáférési technológia hatótávja, tehát amikor egy jármű megkap egy ilyen üzenetet, akkor kötelessége továbbítani is mindaddig, amíg mindenki, aki az adott területen belül tartózkodik, meg nem kapja, és ameddig a hirdetés releváns, azaz az üzenet időzítője le nem jár. A GeoNetworking része tehát az ad-hoc routing protokoll, ami összetett algoritmusokat kíván (Kuhlmorgen et al., 2015). Míg az USA-ban csak egy ugrásig szabad terjedniük a V2X-üzeneteknek, tehát ilyen összetett megoldásokat nem alkalmaznak, addig az EU-ban

használható a több „hop”-on keresztüli üzenet-célbajuttatás is, azaz a szabványok alapján a járművek továbbíthatják a csomagokat egymást között is, például egy célterület felé.

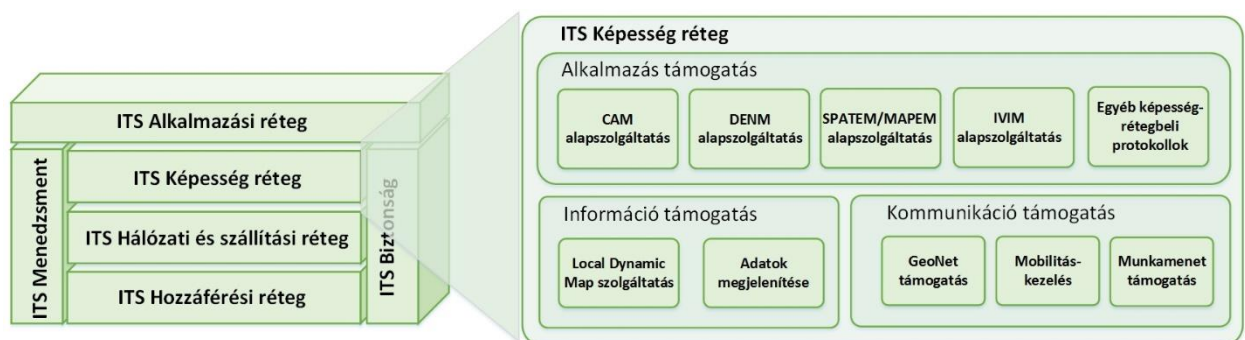


4. ábra. Geobroadcast példa: a sárga autó üzenetének útja a piros körrel jelölt területre.

3.3. ITS KÉPESSÉG RÉTEG (ITS FACILITIES LAYER)

Ez az „új” réteg, ami nincs az OSI-struktúrában, de a V2X-architektúrában megjelent (ETSI 102 894-1, 2018). Különböző alkalmazásokat támogató funkciókat valósíthatunk meg ezzel a réteggel (5. ábra).

A legalapvetőbb ide tartozó protokoll a CAM (Cooperative Awareness Message) üzenetváltást definiáló szolgáltatás (ETSI 302 637-2, 2019). A CAM-üzenet egy „heartbeat”, azaz „itt vagyok” jellegű folyamatos, *periodikus* üzenet, ami segít megtudni minden járműről azt, hogy hol van, merre halad, hányan ülnek benne, hány kg a súlya, mi a sebességvektora, stb. Itt is megjelenik a rétegek közötti optimalizáció: ha a jármű gyorsabban halad, akkor az üzenetek sűrűségét akár másodpercenként tíz alkalomra is tudja állítani, fordított esetben, lassú haladásnál csak egy üzenet kerül kiküldésre másodpercenként.



5. ábra. A C-ITS architektúra Képeség („Facilities”) rétege.

A másik legismertebb protokoll ebből rétegből a DENM (Decentralized Environmental Notification Message) üzeneteket definiáló (ETSI 302 637-3, 2019). Ez a CAM-mel ellentétben *eseményvezérelt*: csak akkor küld üzenetet, amikor valamilyen esemény bekövetkezett. Például, ha megállunk a leállósávban, akkor küld egy „álló jármű a leállósávban” üzenetet. Előre definiált eseményekhez kódokat rendelnek és az üzenetek magukat a kódokat tartalmazzák, csak idő- és geopozíció-bélyeggel ellátva.

Vannak persze további üzenettípusok is a Facilities rétegben, melyek a közlekedési lámpák beállításait közlik (SPaTEM) (ETSI 302 637-3, 2019), ezek alapján tudja az autó beállítani a sebességét, hogy pont zöld jelzésre érjen oda; vannak, amelyek szervizüzeneteket továbbítanak (ETSI 102 890-1,

2017); olyanok, melyek a kereszteződések geometriáját közlik a közeledő járművekkel (MAPEM) (ETSI 302 637-3, 2019), vagy akár a különböző szenzorok által gyűjtött adatok megosztására képesek (ETSI 103 562, 2019). Ezekkel az ismeretterjesztő cikk terjedelmi korlátai miatt bővebben nem foglalkozunk.

3.4. ITS MENEDZSMENT RÉTEG (ITS MANAGEMENT LAYER)

Az ITS Menedzsment réteg – a következő szakaszban tárgyalt biztonság réteghez hasonlóan – nem feleltethető meg egyik OSI-modellben szereplő rétegnek sem. Ez a réteg felelős az ITS-architektúrában található, a biztonság rétegen kívül valamennyi réteg irányításáért, működésük összehangolásáért (ETSI 103 175, 2015; ETSI 302 665, 2010). Az összehangoltság rendkívül fontos a kooperatív funkciókra kihegyezett C-ITS infrastruktúrákban, hiszen minden működési inkonzisztencia, nem kívánt késleltetés felboríthatja az optimalizált rendszert, és komoly problémákkal járhat. Egy nagyrészt járművekből álló hálózatban folyamatosan változik a rádiós összeköttetések topológiája, ebből eredően a jel/zaj-viszony, és változik az is, hogy milyen átviteli technológiával, milyen kódolási eljárást használva és milyen sáv szélességre optimalizálva érdemes átvinni az adatainkat. Például egy 50 Mbit/s-os Wi-Fi-linken 4K felbontású videó is átvihető, míg egy 3G cellás hálózaton ezzel meg sem szabad próbálkozni. Ilyen és ehhez hasonló információk birtokában, folyamatosan végzett mérésekre támaszkodva a Menedzsment réteg időben dönthet az átviteli mód különböző paramétereinek változtatásáról, és értesítheti az architektúra különböző elemeit, ezzel javítva, optimalizálva a kommunikációt.

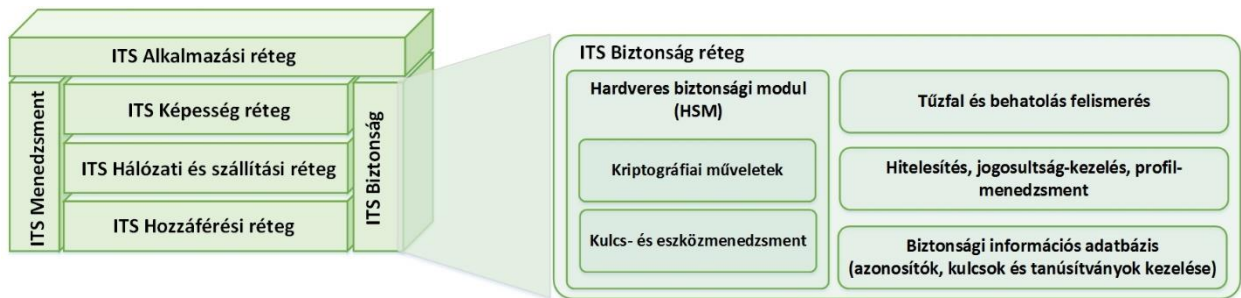
A menedzsment réteg a cross-layer optimalizáció központja a C-ITS-architektúrában (például itt található a hatékony közeghozzáférést megvalósító Decentralized Congestion Control, vagyis a DCC központi modulja is), éppen ezért áll kapcsolatban az összes többi réteggel.

3.5. ITS BIZTONSÁGI RÉTEG (ITS SECURITY LAYER)

Az ITS Biztonság réteggel (ETSI 102 731, 2010; ETSI 102 940, 2018) ellátott szolgáltatások számára alapvető követelmény a megbízhatóság, integritás, autentikálás (confidentiality, integrity, authenticity), valamint a privát szféra védelmének biztosítása. Az alábbi pontokban röviden összefoglaljuk ezeket a fontos követelményeket:

- **Bizalmasság (Confidentiality):** azt jelenti, ha Alice Bobnak küld egy üzenetet, harmadik fél nem tudhat meg semmit sem az üzenet tartalmából (esetleg a hosszát). Ez a gyakorlatban titkosítással valósul meg.
- **Integritás (Integrity):** azt jelenti, hogy ha Alice küld egy üzenetet Bobnak, Bob egyértelműen képes azonosítani, ha valaki megpróbálta megmásítani a küldött üzenetet.
- **Autentikálás (Authenticity):** azt jelenti, ha Alice Bobnak küld egy üzenetet, akkor biztos lehet abban Bob, hogy az üzenet Alicetől származik és nem hamisan akart valaki Alice nevében üzenetet küldeni
- **Anonimitás (Anonymity):** A V2X-kommunikáció által küldött üzeneteknek nem szabad semmilyen olyan információt tartalmazniuk, ami egyértelműen azonosítaná a gépjárművet, a gépjármű sofőrjét, vagy az utast.
- **Összekapcsolhatatlanság (Unlinkability):** a jármű által küldött üzenetek alapján ne legyen könnyen követhető a jármű. Ne legyen könnyebben követhető a V2X segítségével, mint a hagyományos vizuális módon.

Ezeket a követelményeket a V2X biztonság rétegében (6. ábra) a megbízható hardverelemek (Hardware Security Module - HSM), biztonsági és tanúsítvány-attribútumok, a digitális aláírás (és azok ellenőrzése) valamint a hozzá tartozó PKI (Public Key Infrastructure) mechanizmusok segítségével biztosítja.



6. ábra. Az ITS Biztonság réteg szerkezete és feladatai.

A hardveres biztonsági modul (Hardver Security Module, HSM) jellemzően egy külső periféria. Feladata, hogy privát kulcsokat generáljon, tároljon és ezekkel speciális kriptográfiai műveleteket végezzen. Mivel egy privát kulcs egy randomszám, ezek generálásához a HSM-modul egy valódi hardveres véletlenszám-generátort (true random number generator) tartalmaz. A privát kulcs generálásán túl, a HSM feladata még az aláírások generálása is.

A digitális aláírás egy matematikai módszer arra, hogy kiszűrjessük azokat az üzeneteket, amik nem megbízható forrásból származnak, egyértelműen azonosíthatunk valakit. V2X-ben az ECDSA (Elliptic Curve Digital Signature Algorithm) (Johnson et al., 2001) megoldást használják. Az ECDSA alapú PKI működése nagyon vázlatosan az alábbi: a járműben lévő HSM-mel generáltatunk egy kulcspárt. A publikus kulcsot elküldjük a Certificate Authority (CA) nevű entitásnak (a privát kulcs végig a járműhöz tartozó HSM-ben marad). A CA aláírja az ő privát kulcsával a jármű által elküldött publikus kulcsát. Ezt az aláírt publikus kulcsot nevezzük tanúsítványnak. Ezután ezt a tanúsítványt a CA visszaküldi a járműnek, ami a tanúsítványt mindenkinek elküldi rádióan, akinek aláírt üzenetet akar küldeni. A tanúsítvány segítségével az üzenet fogadók biztosak lehetnek abban, hogy az információ a CA által hitelesített forrásból származik. Az üzenet fogadók onnan tudják, hogy a küldő tanúsítványa megbízható, hogy ők is rendelkeznek a CA tanúsítványával. Így tudják hitelesíteni a rádióan fogadott tanúsítványt. Ez a PKI infrastruktúra az EU C-ITS Credential Management System (EU CCMS) rendszer (C-ITS Platform Phase II, 2017a, 2017b) magjában működve biztosítja a járművek közötti biztonságos kommunikációt.

3.6. ITS ALKALMAZÁSI RÉTEG (ITS APPLICATION LAYER)

A cikkben követett „bottom-up” megközelítéssel a hozzáférési rétegtől eljutottunk egészen az alkalmazási réteghöz (ETSI 102 637-1, 2010; ETSI 102 638, 2009), mellyel kapcsolatban az ún. „Day 1” alkalmazásokat fogjuk bővebben tárgyalni, vagyis azokat az alapvető V2X alkalmazásokat, amelyeket a C-ITS technológiák bevezetésének első lépéseinek tartanak. Közülük sok már most is használható, vagy bemutatásra került pilot telepítések, demók, tesztek során.

A Car-2-Car Communication Consortium (C2C-CC, 2020) megközelítését alapul véve, a következő három csoportba soroljuk a V2X szabványosítás alatt lévő és tervezett alkalmazásait (C2C-CC Roadmap, 2019): az első csoportban a „Day 1” alkalmazások vannak, melyek már működnek vagy tesztelés alatt állnak. A második és harmadik csoportban az előző csoport(ok)ra építő, magasabb hozzáadott értékű és persze ezzel párhuzamosan egyre bonyolultabb szolgáltatások tartoznak, ezeket villantjuk fel érdekességként, hogy lássuk, mi mindenre lehet majd képes a V2X a jövőben.

1. Tudatos vezetés (Awareness driving via status data)

A tudatosság arra utal itt, hogy a Facilities rétegnél tárgyalt CAM/DENM/stb. üzenetek révén a sofőr illetve az autó tisztában van a környezetével, a környéken közlekedőkkel azáltal, hogy veszi és feldolgozza ezeket a periodikus/eseményvezérelt üzeneteket az autóktól. Előre „látja”, ha a leállósávban

veszteségel valaki, ha beláthatatlan helyről tolat kifelé az útestre, vagy ha baleset történt valahol. Ide tartozó alkalmazások a teljesség igénye nélkül:

- ütközési figyelmeztetés a kereszteződéseknel;
- rendőr, mentő, tűzoltó járművek közelségére vonatkozó értesítés;
- általános veszélyre való figyelmeztetés az útvonalon;
- álló/lassú járműre való figyelmeztetés.

2. Érzékelésekre alapuló vezetés (Sensing driving via sensor data)

A CAM- és egyéb szolgáltatások által közvetített alapadatok mellett, a V2X-kommunikációra képes járművek a legkülönbözőbb szenzorai adatait is megoszthatják egymással: környezetükről pontosabb és mélyebb képet közvetíthetnek, így a közelükben közlekedő autók ismerete teljesebb lesz a környezetről. Ennek köszönhetően a korábbi használati esetek pontossága, megbízhatósága tovább növelhető, és figyelembe vehetnek például olyan környezeti tényezőket, közlekedési paramétereket is, amelyeket más járművek vagy az útinfrastruktúra elemei érzékelnek. Így egy kanyarodó jármű tisztában lehet azzal, hogy útját a jobbra fordulás után egy gyalogos keresztezi majd. Ebbe a csoportba tartozó alkalmazások például a következők:

- „előzés alatt állsz” figyelmeztetés;
- távol(abb)i kereszteződés előtti figyelmeztetés;
- csoportos adaptív sebességtartó automatika;
- vészfékezés-jelzés;
- úttesttel kapcsolatos figyelmeztetések, távol(abb)ról, jóval az odaérkezés előtt.

3. Kooperatív és szinkronizált kooperatív vezetési műveletek (Cooperative and synchronized cooperative driving with intention and coordination data)

A CAM-üzenetek és a hatótávon belül tartózkodó vagy azon kívül lévő, de releváns adatokkal bíró autók szenzoradatai mellett a V2X-kommunikációra képes járművek összehangoltan működnek, és segítik egymás döntéseit az összetett forgalmi szituációkban: kifordulhat-e mellékútról, belekezdhet-e az előzésbe adott helyzetben, ha igen, akkor hogyan soroljon be, és a többi jármű hogyan segítheti a besorolását, stb. Ebbe a csoportba sorolhatók pl. a következő jövőben várható alkalmazások:

- kooperatív előzés (mindenki besegít az előző autó döntésébe és manőverének meghatározásába);
- kooperatív holtér-figyelmeztetés;
- kooperatív sávváltás;
- rajban/konvojban/csoportban haladás (pl. teherautóknál, üzemanyag-megtakarítási céllal).

A járművek közötti kommunikáció lényege tehát az, hogy ha a járművezető vagy a járműszenzor nem is érzékeli, a jármű akkor is értesülhet arról, hogy a másik autó, az akadály, a dugó, a kátyú vagy a gyalogos ott van, amerre a jármű tart, és ezt az információt a jármű felhasználhatja (például a vezetőt értesítheti), annak köszönhetően, hogy a közlekedésben részt vevő valamennyi elem kooperatív, és „elmondja” a többieknek a környezet általa felfedezett és digitálisan leképzett, közlekedés szempontjából releváns adatait.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A járműkommunikáció napjaink egyik legígéretesebb, nemzetközi szabványosítás alatt lévő fejlesztése. A közlekedés meghatározó szereppel bír mindennapjainkban, a mobilitás javulását gyakran

egyenlővé teszik a gazdasági fejlődéssel: ahol autópálya épül, ott felvirágzik a környék, csak azért, mert könnyebben, gyorsabban elérhetővé válik a régió az országban meghatározó szerepet játszó „csomópontokból”: a fővárosból és az ipari, logisztikai központokból. A közlekedés mindemellett negatív hatásokkal is bír: szennyezi a környezetet és sok ember haláláért felelős. A károsanyag-kibocsátást csak csökkenteni tudják a V2X-járműkommunikációval támogatott intelligens megoldások, azáltal, hogy például a közlekedés ütemezését tökéletesíti, segít elkerülni a forgalmi dugókat, illetve konvojban, egymástól nagyon alacsony követési távolságra utaztatja a kamionokat, melyek így a légellenállás drasztikus csökkentése miatt rengeteget spórolnak. A haláleseteket viszont a jövőben akár teljesen ki is tudjuk majd küszöbölni: a V2X elsődleges célja a közlekedésbiztonság sokkal magasabb szintre emelése azáltal, hogy a járművek egymással kommunikálva megosztják azt a „tudást”, amit szenzoraiuk segítségével környezetükről begyűjtöttek.

A V2X-technológiák bevezetésének első lépései („Day 1” alkalmazások) már tesztelés alatt vannak, egyre szélesebb körben kezdik alkalmazni őket: azon alapulnak, hogy periodikus CAM-üzenetekkel és eseményvezérelt DENM-üzenetekkel a járművek értesítik egymást érkezésükről, megkülönböztető jelzést alkalmazó jármű közeledtéről, úthibákról, lassú vagy veszteglő járművekről. Itt az információ előre definiált üzenetekre alapuló megosztására építenek a szolgáltatások, de nincs benne még valódi kooperáció: ezt nevezik tudatos vezetésnek (awareness driving). A hazai ITS-G5 telepítések (M0, M1) és tervezés alatt álló okosúti infrastruktúrák (M9, M76) ezeket az alkalmazásokat már alapértelmezésben támogatják.

A következő szinten már további információkat is megosztanak egymással a járművek: az egyik autó által a zebrán érzékelt gyalogos annak is hasznos információ, aki még a sarok mögött autózik és pont arra készül befordulni, ahol a gyalogost érzékelték. Itt az információk továbbítása távolabbra is lehetséges, több ugráson keresztül és magasabb szintű információkat közvetít: vészfékezés jelzése a kettővel előttünk haladó autótól, „előzés alatt állsz” jelzés, valamint ide tartozik a csoportos adaptív sebességtartás is.

A harmadik szinten, ami egyelőre még bőven a jövőbe mutat, megjelennek a *kooperatív vezetési műveletek*, azaz a többi autó segít annak megítélésében, hogy belekezdhet-e az előzésbe, a holtteret már nem csak a saját szenzorom figyeli, hanem a belső sávban 300 km/h-val érkező motorosról a többi autótól is értesülök, és ide tartozik a konvojban haladás is, ugyanis itt is szoros együttműködésre, szinkronizált gyorsulásra/lassulásra van szükség.

A V2X fejlesztésének távlati célja természetesen a teljesen *autonóm járművek* kiszolgálása. Az önvezetés kezdeti szintjét (saját, auton belüli) szenzoralapú, embert emuláló megoldások jellemzik. Minden autonóm járműnek szüksége van a környezetet leíró digitális reprezentációra: és ha mindenki csak a saját szenzorjaira támaszkodik, az sokkal kevesebb bemeneti adatot jelent annál, mintha mindenki meg is osztaná a saját érzékeléseit a többiekkel. Ehhez kell a járműkommunikáció, melynek szintjétől, szolgáltatásainak bonyolultságától, hozzáadott értékétől függően jutunk el az *önvezetés* magasabb szintjeire, ezt pedig a vázolt három lépcsőfokon való előrehaladás modellezi. A fejlődéssel fokozatosan létrejön a kooperatív tudatosság az egyes elemek (járművek, útmenti szenzorok, közlekedési lámpák, változtatható jelzéseképű táblák, stb.) közt, kicserélik azt, hogy mit látnak a környezetből, és ezzel egyre teljesebb képet tudnak alkotni róla, ami a megfelelő beavatkozással egyre magasabb szintű közlekedésbiztonságot és hatékonyságot jelent.

Viszont az önvezetés akkor sem lesz teljes megoldás, ha majd egyszer szabályozott körülmények közt, széleskörűen megvalósul: megtörténhet majd, hogy a vezérlő intelligencia meghibásodik, nem képes vezetni, de az autó még vezethető lenne, motorikusan semmi baja. Ekkor jön képbe a „távoli vezetés” (remote driving), azaz az irodában ülő operátor szervízbe/a bázisra vezethetné az autót távolról. Ehhez tehát már nem kell működőképes vezérlő algoritmus, elég, ha a kommunikáció jól működik, megfelelően nagy sáv szélességgel és nagyon alacsony késleltetéssel. Itt már csak az 5G-6G alapú megoldásoknak (Letaief et al., 2019) lehet létjogosultsága, ezek tudják ill. fogják tudni teljesíteni az extrém alacsony késleltetésre és a megfelelően nagy átviteli kapacitásra, küldetéskritikus működésre vonatkozó elvárásokat.

Végül a távoli jövőre való kitekintésként megemlíthetjük a V2X – IoT (Internet of Things) várt jövőbeli összefonódását (Kunz et al., 2018): ezzel újabb, óriási adatforráshoz juthatnak a közlekedők, ugyanis az IoT eszközök lassan mindenhol (szinte minden újabb készülékben) megtalálhatók. A személyekhez köthető adatok továbbítása még jogi szempontból megoldandó kérdéskör, de amikor ez sikerül, egy még jobb minőségű adathalmazra alapozó, városi, sőt akár országszintű egyéni és közösségi közlekedést optimalizáló rendszer lesz megvalósítható, amivel már egészen közel kerülhet a V2X a kitűzött „nulla halálos áldozat a közlekedésben” céljához.

5. HIVATKOZÁSOK

3GPP. 2020: The 3rd Generation Partnership Project (3GPP), 3GPP specifications. <https://www.3gpp.org/specifications>

3GPP 36.885. 2016: 3GPP TR 36.885 V14.0.0, Study on LTE-based V2X Services (Release 14). <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2934>

2008/671/EC. 2008: 2008/671/EC: Commission Decision of 5 August 2008 on the harmonised use of radio spectrum in the 5875—5905 MHz frequency band for safety-related applications of Intelligent Transport Systems (ITS). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008D0671>

ASECAP Position. (2018): ASECAP Position Regarding LTE-V2X in the 5GHz Band. https://www.c-roads.eu/fileadmin/user_upload/media/Dokumente/ASECAP_position_regarding_LTE.pdf

C2C-CC. 2020: CAR 2 CAR Communication Consortium – Key player with high reputation in driving C-ITS developments and assisting to achieve vision zero. <https://www.car-2-car.org/>

C2C-CC Roadmap. 2019: C2C-CC, Guidance for day 2 and beyond roadmap, CAR 2 CAR Communication Consortium. https://www.car-2-car.org/fileadmin/documents/General_Documents/C2CCC_WP_2072_RoadmapDay2AndBeyond.pdf

C-ITS Platform Phase II. 2017a: C-ITS Platform Phase II, Certificate Policy for Deployment and Operation of European Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS), RELEASE 1. https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/c-its_certificate_policy_release_1.pdf

C-ITS Platform Phase II. 2017b: C-ITS Platform Phase II, Security Policy & Governance Framework for Deployment and Operation of European Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS). https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/c-its_security_policy_release_1.pdf

Connected Vehicle Test Bed. 2020: Connected Vehicle Test Bed, Testing Connected Vehicle Technologies in a Real-World Environment. https://www.its.dot.gov/research_archives/connected_vehicle/dot_cvbrochure.htm

C-ROADS. 2020: August 24. C-ROADS - The Platform of Harmonised C-ITS Deployment in Europe. <https://www.c-roads.eu/platform.html>

C-ROADS Position. 2018: C-ROADS, Radio frequencies designated for enhanced road safety in Europe—C-Roads position on the usage of the 5.9 GHz band. https://www.c-roads.eu/fileadmin/user_upload/media/Dokumente/C-Roads_Position_paper_on_59GHz_final.pdf

EC. 2014: 2030 climate & energy framework. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en
ECC Report 250. 2016. ECC Report 250, Compatibility studies between TTT/DSRC in the band 5805-5815 MHz and other systems. <https://docdb.cept.org/download/f4340389-e665/ECCRep250.pdf>

Edwards, T. 2015: Connected and automated vehicles: Concepts of V2x communications and cooperative driving. Autonomous Passenger Vehicles, 1–14. <https://doi.org/10.1049/ic.2015.0060>

ETSI 102 637-1. 2010: ETSI TS 102 637-1 V1.1.1, Technical Specification, Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 1: Functional Requirements. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/10263701/01.01.01_60/ts_10263701v010101p.pdf

ETSI 102 638. 2009: ETSI TR 102 638 V1.1.1, Technical Report, Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Definitions. ETSI. https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102600_102699/102638/01.01.01_60/tr_102638v010101p.pdf

ETSI 102 731. 2010: ETSI TS 102 731 V1.1.1 (2010-09), Intelligent Transport Systems (ITS); Security; Security Services and Architecture. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102700_102799/102731/01.01.01_60/ts_102731v010101p.pdf

ETSI 102 792. 2015: ETSI TS 102 792 V1.2.1 (2015-06), Mitigation techniques to avoid interference between European CEN Dedicated Short Range Communication (CEN DSRC) equipment and Intelligent Transport Systems (ITS) operating in the 5 GHz frequency range. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102700_102799/102792/01.02.01_60/ts_102792v010201p.pdf

ETSI 102 890-1. 2017. ETSI TS 102 890-1 V1.1.1 (2017-05): Intelligent Transport Systems (ITS); Facilities layer function; Part 1: Services Announcement (SA) specification. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102800_102899/10289001/01.01.01_60/ts_10289001v010101p.pdf

ETSI 102 894-1. 2018: ETSI TS 102 894-1 V1.1.1 (2013-08), Intelligent Transport Systems (ITS); Users and applications requirements; Part 1: Facility layer structure, functional requirements and specifications. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102800_102899/10289401/01.01.01_60/ts_10289401v010101p.pdf

ETSI 102 940. 2018: ETSI TS 102 940 V1.3.1 (2018-04), Intelligent Transport Systems (ITS); Security; ITS communications security architecture and security management. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102900_102999/102940/01.03.01_60/ts_102940v010301p.pdf

ETSI 103 175. 2015: ETSI TS 103 175 V1.1.1 (2015-06), Intelligent Transport Systems (ITS); Cross Layer DCC Management Entity for operation in the ITS G5A and ITS G5B medium. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103100_103199/103175/01.01.01_60/ts_103175v010101p.pdf

ETSI 103 562. 2019: ETSI TR 103 562 V2.1.1, Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Analysis of the Collective Perception Service (CPS); Release 2. https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103500_103599/103562/02.01.01_60/tr_103562v020101p.pdf

ETSI 123 285. 2020: ETSI TS 123 285 V16.4.0 (2020-10), Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Architecture enhancements for V2X services (3GPP TS 23.285 version 16.4.0 Release 16). https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123200_123299/123285/16.04.00_60/ts_123285v160400p.pdf

ETSI 302 571. 2017: ETSI EN 302 571 V2.1.1 (2017-02), Radiocommunications equipment operating in the 5 855 MHz to 5 925 MHz frequency band; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU. https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302500_302599/302571/02.01.01_60/en_302571v020101p.pdf

ETSI 302 636-3. 2014: ETSI EN 302 636-3 V1.2.1 (2014-12), Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 3: Network Architecture. https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263603/01.02.01_60/en_30263603v010201p.pdf

ETSI 302 636-5-1. 2019: ETSI EN 302 636-5-1 V2.2.1 (2019-05), Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 5: Transport Protocols; Sub-part 1: Basic Transport Protocol. https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/3026360501/02.02.01_60/en_3026360501v020201p.pdf

ETSI 302 637-2. 2019: ETSI EN 302 637-2 V1.4.1, European Standard, Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service. https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263702/01.04.01_60/en_30263702v010401p.pdf

ETSI 302 637-2. 2019: ETSI EN 302 637-2 V1.4.1, European Standard, Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service. https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263702/01.04.01_60/en_30263702v010401p.pdf

ETSI 302 637-2. 2019: ETSI EN 302 637-2 V1.4.1, European Standard, Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service. https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263702/01.04.01_60/en_30263702v010401p.pdf

ETSI 302 637-2. 2019: ETSI EN 302 637-2 V1.4.1, European Standard, Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service. https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263702/01.04.01_60/en_30263702v010401p.pdf

ETSI 302 637-3. 2019: ETSI EN 302 637-3 V1.3.1, European Standard, Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service. https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263703/01.03.01_60/en_30263703v010301p.pdf

ETSI 302 663. 2020: ETSI EN 302 663 V1.3.1, European Standard, Intelligent Transport Systems (ITS); ITS-G5 Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band. https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302663/01.03.01_60/en_302663v010301p.pdf

ETSI 302 665. 2010: ETSI EN 302 665 V1.1.1 (2010-09), European Standard, Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture. ETSI. https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302665/01.01.01_60/en_302665v010101p.pdf

Ganesan, K., Mallick, P. B., Löhr, J., Karampatsis, D., & Kunz, A. (2019). 5G V2X Architecture and Radio Aspects. 2019 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN), 1–6. <https://doi.org/10.1109/CSCN.2019.8931319>

Hamilton, B. A. 2016: History of Intelligent Transportation Systems. U.S. Department of Transportation, Intelligent Transportation Systems Joint Program Office. https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/30826/dot_30826_DS1.pdf

IEEE Std 802.11™-2016. 2016: 802.11-2016—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", IEEE Standard 802.11-2016 (Issue IEEE Std 802.11™-2012). IEEE-Pub. <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.11-2016.html>

ISO / IEC 7498-1. 1994: Open Systems Interconnection—Basic Reference Model. <https://www.iso.org/standard/20269.html>

Jeong, J. 2020: IPv6 Wireless Access in Vehicular Environments (IPWAVE): Problem Statement and Use Cases, draft-ietf-ipwave-vehicular-networking-19. <https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-ipwave-vehicular-networking-19>

Johnson, D., Menezes, A., & Vanstone, S. 2001: The Elliptic Curve Digital Signature Algorithm (ECDSA). International Journal of Information Security, 1(1), 36–63. <https://doi.org/10.1007/s102070100002>

Karagiannis, G., Altintas, O., Ekici, E., Heijenk, G., Jarupan, B., Lin, K., & Weil, T. 2011: Vehicular Networking: A Survey and Tutorial on Requirements, Architectures, Challenges, Standards and Solutions. Communications Surveys Tutorials, IEEE, 13(4), 584–616. <https://doi.org/10.1109/SURV.2011.061411.00019>

Kenney, J. B. 2011: Dedicated Short-Range Communications (DSRC) Standards in the United States. Proceedings of the IEEE, 99(7), 1162–1182. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2011.2132790>

Kuhlmoorgen, S., Llatser, I., Festag, A., & Fettweis, G. 2015: Performance Evaluation of ETSI GeoNetworking for Vehicular Ad Hoc Networks. 2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 1–6. <https://doi.org/10.1109/VTCSpring.2015.7146003>

Kunz, A., Nkenyereye, L., & Song, J. 2018: 5G Evolution of Cellular IoT for V2X. 2018 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN), 1–6. <https://doi.org/10.1109/CSCN.2018.8581830>

Letaief, K. B., Chen, W., Shi, Y., Zhang, J., & Zhang, Y. A. 2019: The Roadmap to 6G: AI Empowered Wireless Networks. IEEE Communications Magazine, 57(8), 84–90. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2019.1900271>

Naik, G., Choudhury, B., & Park, J. 2019: IEEE 802.11bd 5G NR V2X: Evolution of Radio Access Technologies for V2X Communications. IEEE Access, 7, 70169–70184. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2919489>

Vision Zero. 2020: Vision Zero: Safety. Health. Wellbeing. <http://visionzero.global/>

Waze. 2020: Waze, A legjobb útvonal valós időben – a többi autóvezető segítségével.
<https://www.waze.com/hu>

Wymeersch, H., Campos, G. R. de, Falcone, P., Svensson, L., & Ström, E. G. 2015: Challenges for cooperative ITS: Improving road safety through the integration of wireless communications, control, and positioning. 2015 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC), 573–578. <https://doi.org/10.1109/ICCNC.2015.7069408>

Zhou, H., Xu, W., Chen, J., & Wang, W. 2020: Evolutionary V2X Technologies Toward the Internet of Vehicles: Challenges and Opportunities. Proceedings of the IEEE, 108(2), 308–323.
<https://doi.org/10.1109/JPROC.2019.2961937>