

V2X – A járművek közötti kommunikáció kihívásai

V2X – The challenges of vehicle-to-everything communication

Soós Gábor¹, Rövid András², Ormos Pál³,

¹*Dept. of Telecommunications and Media Informatics,
Budapest University of Technology and Economics (BME) Budapest, Hungary*
soos@tmit.bme.hu

²*Senior Research Fellow, Head of Autonomous Vehicles Research Group,
Budapest University of Technology and Economics (BME) Budapest, Hungary*
rovid.andras@kjk.bme.hu

³*Dept. of Network Security and Internet Technologies,
HUN-REN Institute for Computer Science and Control (HUN-REN SZTAKI)
Budapest, Hungary*
ormos.pal@sztaki.hun-ren.hu

Absztrakt

A gépjárművek mint gépek közötti kommunikációs forma IEEE és 3GPPP szabványa és szabvány alapú megvalósítása több mint 10 éve elérhető. A kezdeti 802.11-alapú megoldást az elmúlt évtizedben számos 3GPP-alapú szabvány egészítette ki. A különböző régiókban, mint USA, Európa és Kína azonban számos eltérő megvalósítás kezdett elterjedni, melyek egy része különböző frekvenciasávokat használ, szerencsére azonban az applikációs réteg jórészt egymással megfeleltethető és értelmezhető. Munkánkban a különböző szabványokat mutatjuk be áttekintő jelleggel a meglévő irodalom alapján, rámutatunk a régiók és a szabványokban lévő főbb különbségekre és jellegzetességekre.

Kulcsszavak: V2X, 3GPP, IEEE, 802.11p, DSRC, LTE-V2X, survey

Abstract

The IEEE and 3GPPP standards and their standards-based implementations for automotive machine-to-machine communication have been available for more than 10 years. The initial 802.11-based solution has been complemented by a number of 3GPP-based standards over the last decade. However, a number of different implementations have started to proliferate in different regions such as the United States, Europe and China, some of which use different frequency bands, but fortunately, the application layer is largely interoperable. In our work, we present an overview of the different standards based on the existing literature, pointing out the main differences and characteristics of the regions and standards.

Keywords: V2X, 3GPP, IEEE, 802.11p, DSRC, LTE-V2X, survey

I. Bevezetés

A járművek közötti kommunikáció természetesen kiterjed a járműveken túl, az őket körülvevő más, a közlekedésben résztvevő, a közlekedésre hatással levő berendezésekre is. A jelenlegi járművek és környezeti elemek közötti kommunikációban (V2X) a szabványosítók számos különböző irányt és lehetőséget fogalmaztak meg. Ilyen kommunikációs megoldások például a gépjármű–közlekedési lámpa, –kerékpár, –gyalogos, de ide tartozik a központosított berendezések által az adott útszakaszra vagy városra vonatkozó információ, például lezárt utakról vagy balesetről.

A kommunikáció így több irányú lehet.

- gépjármű–gépjármű: A leggyakrabban átadott információ a gépjármű helyzete, sebessége, gyorsulásának vektora, továbbá az azonnali beavatkozást igénylő események, például vészfékezés, speciális esemény az úton.
- gépjármű–statikus környezet: A közlekedési lámpák helyzete, a jelzések állapota, útvonal-telítettség információk
- gépjármű–központi környezet: útvonalat érintő információk és azonnali beavatkozást javasoló információk.

A jelenleg vizsgált V2X szabványokban nem találtunk utasításokat, azonnal végrehajtandó parancsot sem a fogadó sem a küldő oldalon. Ennek egy oka, hogy a közlekedésben résztvevő szereplők közötti kommunikációs csatornák nem garantálnak dedikált adatátviteli útvonalat.

Munkánk az alábbi fejezetekből épül fel:

A II. fejezetben bemutatjuk a nemzetközileg elterjedt V2X kommunikációs protokollokat, a III. fejezetben rámutatunk a 802.11- és a 3GPP-alapú kommunikáció különbségeire, majd összefoglaljuk kutatói munkánkat.

II. Kommunikációs protokollok, szabványok

Használt frekvenciasávok

A V2X-kommunikáció számára az 5 GHz-es frekvencia sáv tetején jelöltek ki nemzetközileg használható frekvenciasávot, pontosabban 5855 MHz-től 5925 MHz-ig. Nemzetközi összehasonlításban a különböző régiók, mint CEPT, Amerika, Pacific-region között a frekvenciasávok +-5 MHz eltérésben megegyeznek, így várható, hogy a nemzetközileg elérhető chipek és modemek a különböző régiókban egyaránt működőképesek lesznek [1-3].

Európában a frekvenciasávon IEEE Channel 172-től 184-ig került felosztásra, melyből V2V Safety-sávra egyet jelöltek ki, ITS Safety-re pedig ötöt. A maradék sávot egy V2X Control célra fenntartott frekvencia tartomány foglalja el.

A magyarországi NMHH-jogszabály az 5875 és 5925 MHz-es sávban limitálja a használatot. A maximális teljesítménysűrűség 23 dBm/MHz, a teljes adási teljesítmény pedig maximum 33 dBm átlagos EIRP-re számolva. Az egyik legfontosabb technikai jellemző a használt frekvenciasáv. Az IEEE 802.11p a 5,850–5,925 GHz-es frekvenciasávot használja, amelyet az intelligens közlekedési rendszerek (ITS) számára dedikáltak. Ez a sáv hét darab 10 MHz-es

csatornára van felosztva. Ezek közül az egyik csatorna vezérlőcsatornaként, míg a többi szolgáltatási csatornaként működik. Ez a felosztás lehetővé teszi a különböző típusú kommunikációk elkülönítését és a zavarok minimalizálását.

Nemzetközi egyezőségek és eltérések

Bár a nemzetközi szabványosító testületek évek óta szorosan együttműködnek a V2X-kommunikációban régióként, mint USA-Európa és Kína, 3 rendkívül hasonló [4], azonban közvetlenül egymással együttműködni nem tudó V2X szabványrendszer alakult ki. A nemzetközi irányok és használati trendek az IEEE 802.11p Dedicated Short-Range Communication (DSRC) és a 3GPP *Long-Term Evolution* (LTE)/5G PC5-technológiák esetében jelentős eltéréseket mutatnak, mind elterjedtségükben, mind alkalmazási területeikben. Az IEEE 802.11p DSRC-technológia elsőként jelent meg a járműkommunikáció területén, és számos országban, például az Egyesült Államokban, Japánban és Európában széles körben alkalmazzák a V2X területén. Az amerikai ITS-rendszer, az európai C-ITS-kezdeményezések (Cooperative ITS), valamint a japán SMARTWAY-projekt is ezt a technológiát használják.

A 3GPP LTE/5G PC5-technológia újabb, gyorsan terjed a globális V2X-piacon. Az 5G-hálózatok fejlődésével párhuzamosan egyre több ország és autógyártó integrálja ezt a technológiát járműveibe, mivel nagyobb távolságú adatátviteli lehetőséget ad. Európában az 5GAA (5G Automotive Association) és az Egyesült Államokban a 5GPPP (5G Public-Private Partnership) is aktívan támogatja az 5G-alapú V2X-megoldások fejlesztését és bevezetését.

A két technológia párhuzamosan fejlődik és egymást kiegészítve, különböző alkalmazási területeken nyújtanak megoldásokat. Míg az IEEE 802.11p DSRC elsősorban a közvetlen járműkommunikációban erős, addig a 3GPP LTE/5G PC5 a hálózat-alapú kommunikáció és a nagy távolságban is működő és igényelt alkalmazások területén nyújt kiemelkedő teljesítményt. Ennek eredményeként a jövő intelligens közlekedési rendszereiben mindkét technológia jelentős szerepet kaphat, a regionális szabályozások és piaci igények függvényében.

Az USA-ban és Európában a fizikai és a Data Link layer WLAN IEEE 802.11-alapú, vagy 3GPP C-V2X-technológiának a PC5 interface, míg Kínában csak a 3GPP C-V2X PC5 interface terjedt el. A protokollok L1 és L2 feletti eltérések azonban még jelentősebbek.

EU – Az EU-ban az L3-réteg GeoNetworking, az erre épülő L4 pedig a Basic Transport Protocol-t használja. Az Application rétegben számos elkülönülő üzenetküldési lehetőséget használ, mint CAM, DENM, MAPEM.

USA – Az USA-ban a L3 és L4-réteg nem különül el egyértelműen, a WAVE protokoll, mely része az IEEE 1609.3-nak használ. A felette lévő L7 applikációs réteg viszont csak BSM, MAP-SPAT, SRM és SSM-et használ, ezzel jelentősen csökkentve, átsorolva az EU-ban használható kereteket.

Kína – A kínai szabványosítók hasonlóan az USA-hoz egyben kezelik az L3 és L4-rétegeket, azonban a WAVE helyett a DSMP GB/T 31024.3 megoldást használják. Az applikációs szinten az üzenetküldési fajták száma megegyezik az USA szabvánnyal, azonban a nevük eltérő, BSM, MAP, SPAT mellett RSM- és RSI-üzenet típusokat használnak.

III. IEEE 802.11- és a 3GPP-alapú kommunikáció 802.11p

Az IEEE 802.11p DSRC[5] (Dedicated Short-Range Communications) szabványt kifejezetten a járművek közötti (V2V) és a járművek és az infrastruktúra közötti (V2I) kommunikáció céljaira fejlesztették ki. A szabvány az OFDM- (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) modulációt alkalmazza, amely hatékony és stabil adatátvitelt biztosít. Az adatsebesség modulációs és kódolási séma függvényében 3 Mbps és 27 Mbps között változik. Az OFDM-technika előnye, hogy ellenáll a többúthoz kapcsolódó zavaroknak és lehetővé teszi a nagysebességű adatátvitelt még dinamikus és változó környezetben is. Az IEEE 802.11p egyik kritikus előnye az alacsony késleltetés. A késleltetés néhány milliszekundum nagyságrendű, ami különösen fontos a V2X alkalmazásokban, mint például az ütközésselkerülő rendszerekben, ahol az azonnali reakcióidő elengedhetetlen. Az alacsony késleltetés biztosítja, hogy a járművek közötti információcsere gyorsan és hatékonyan történjen, így minimalizálva a potenciális balesetek kockázatát és javítva az általános közlekedési biztonságot.

Az IEEE 802.11p DSRC-technológia fontos jellemzője a hatótávolsága, amely körülbelül 300 méter, mely bizonyos esetekben akár 1500 méter is lehet. Ez a távolság lehetővé teszi a járművek közötti közvetlen kommunikációt és az infrastruktúrával való kapcsolatot. A hatótávolság azonban függ a környezeti tényezőktől, mint például az épületek és más akadályok jelenlététől, valamint az adóteljesítménytől. Városi környezetben az akadályok csökkenthetik a hatótávolságot, míg nyílt terepen ez megnövekedhet. A 300 méteres hatótávolság elegendő ahhoz, hogy a járművek időben észleljék egymást és az infrastruktúrát, így lehetőséget teremtve a közlekedési információk és figyelmeztetések hatékony cseréjére, azonban a nagyobb, több kilométerről küldött információk küldésére és fogadására alkalmatlan.

Az információküldés során[6,7], az adatcsomagok küldésének prioritizálása, azaz sorrendiségének módosítása az IEEE 802.11p-ben lehetséges. Például a sürgősségi üzeneteknek – mint az ütközés figyelmeztetéseknek vagy a vészfékezési parancsoknak – elsőbbséget kell élvezniük a kevésbé kritikus adatforgalommal – mint pl. a navigációs információk – szemben. Az ad-hoc hálózati architektúrájának köszönhetően lehetővé vált a járművek közvetlen kommunikációja bázisállomások vagy más infrastruktúra nélkül, továbbá ez a funkció lehetővé teszi, hogy a járművek az egymástól kapott információt megismételjék s ezzel az eredeti adó- és a szakaszcsillapítással számolt elérhető távolságon kívülre is kommunikáljanak. Ez a felépítés rugalmas és jól alkalmazkodik a dinamikus közlekedési környezethez, ahol a járművek folyamatosan mozognak és változik a hálózat topológiája. Az ad-hoc hálózatok előnye, hogy gyorsan létrejönnek és könnyen kezelhetőek.

Az IEEE 802.11p szabvány a MAC (Medium Access Control) és PHY (Physical Layer) protokollokat használja [8,9], amelyek az IEEE 802.11 szabványcsalád részei. Ezeket a protokollokat kifejezetten a nagy sebességű járműkommunikáció igényeihez igazították. A MAC réteg felelős az adatok hozzáférési szabályainak meghatározásáért és az ütközések elkerüléséért, míg a PHY réteg az adatok fizikai továbbítását végzi. Az IEEE 802.11p-ben alkalmazott MAC és PHY protokollok optimalizáltak a járművek nagy sebessége és a változó környezeti feltételek mellett történő megbízható adatátvitel érdekében.

3GPP PC5

A 3GPP LTE és 5G PC5-interfész a licencelt és nem licencelt spektrumot is használhatja a kommunikációhoz [10,11]. Az LTE PC5 általában a 5,9 GHz-es ITS (Intelligent Transportation Systems) sávban működik. A PC5-interfész mind az LTE, mind az 5G esetében fejlett modulációs technikákat használ. Az LTE PC5 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) és 16QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation) modulációkat alkalmaz, amelyek lehetővé teszik a stabil és hatékony adatátvitelt. Az 5G PC5-interfész továbbfejlesztett modulációkat, például 64QAM és 256QAM használ, amelyek még nagyobb adatsebességet biztosítanak.

Az alacsony késleltetés kritikus fontosságú a V2X-kommunikációban, különösen az ütközéselkerülési és egyéb biztonsági alkalmazásokban [12]. Az LTE PC5-interfész késleltetése néhány tíz milliszekundum, ami már megfelelő a legtöbb V2X-alkalmazáshoz. Az 5G PC5-interfész azonban ezt tovább javítja, néhány milliszekundum alatti késleltetést ér el. A PC5-interfész közvetlen kommunikációt biztosít a járművek között (V2V), járművek és infrastruktúra között (V2I), anélkül, hogy szükség lenne központi hálózati infrastruktúrára [13]. A 3GPP Uu-interfacen keresztül a berendezések viszont a meglévő mobilhálózatokon keresztül kommunikálhatnak, a mobilhálózati szolgáltatók által biztosított rendszereken keresztül.

Paraméter	IEEE 802.11p DSRC	3GPP LTE-PC5	3GPP 5G-PC5
Frekvenciasáv	5,850–5,925 GHz	5,9 GHz ITS, licencelt és nem licencelt	Licencelt és nem licencelt (pl. mmWave)
Moduláció	OFDM	QPSK, 16QAM	64QAM, 256QAM
Adatsebesség	3-27 Mbps	Akár 100 Mbps	Akár több Gbps
Késleltetés	Néhány milliszekundum	Néhány tíz milliszekundum	Néhány milliszekundum alatt
Hatótávolság	Kb. 300 méter	Kb. 300-500 méter	Kb. 500+ méter
Hálózati Architektúra	Ad-hoc	Ad-hoc	Ad-hoc, integrált hálózati támogatás
QoS Támogatás	Igen	Igen	Igen
Spektrumhatékonyság	Magas	Közepes	Nagyon magas
Biztonság	Titkosítás és hitelesítés	Erős titkosítás és hitelesítés	Fejlett titkosítás és integritásvédelem
Interoperabilitás	IEEE 802.11 család többi tagjával	LTE és 5G hálózatokkal kompatibilis	LTE és 5G hálózatokkal kompatibilis

Az IEEE és a 3GPP alapú V2X kommunikációs szabványok jelentősebb paramétereinek összehasonlító táblázata

IV. Összefoglaló

Az IEEE 802.11p DSRC és a 3GPP LTE/5G PC5 interfészek két kulcsfontosságú technológia a járművek közötti (V2V) és a járművek és infrastruktúra közötti (V2I) kommunikációban. Az IEEE 802.11p DSRC a közvetlen kommunikációban alacsony késleltetéssel és megbízhatósággal tűnik ki, különösen a rövidebb távú adatátvitel terén. A 3GPP LTE-PC5 és az 5G-PC5 technológiák nagyobb adatsebességet és spektrumhatékonyságot kínálnak, kihasználva a licencelt és nem licencelt spektrumokat, valamint az 5G-hálózatok rugalmasságát és alacsony

késleltetését. Mindkét technológia fontos szerepet játszik a modern intelligens közlekedési rendszerekben, ahol a biztonság és a hatékonyság javítása érdekében a közvetlen és hálózat-alapú kommunikáció kombinálódik. A jövőben a regionális szabályozások és piaci igények alapján mindkét technológia integrálása várható a világszintű V2X-et támogató fedélzeti kommunikációs rendszerekben.

Irodalomjegyzék

1. B. Bloessl, C. Sommer, F. Dressler, and R. German, „A comparative performance evaluation of vehicular LTE and DSRC,” **Ad Hoc Networks**, vol. 43, pp. 45–55, 2016. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8108284>
2. A. Bazzi, G. Cecchini, B. M. Masini, and A. Zanella, „Comparison of DSRC and LTE-V2V for Vehicle-to-Vehicle Communications in Highway and Urban Scenarios,” **IEEE Wireless Communications Letters**, vol. 6, no. 3, pp. 457–460, June 2017. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/336768425>
3. F. Dressler, C. Sommer, D. Eckhoff, and O. Tonguz, „Towards Realistic Simulation of Inter-Vehicle Communication: Models, Techniques and Prototypes,” **IEEE Vehicular Technology Conference**, 2011. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/252061906>
4. S. K. Datta, C. Bonnet, and N. Nikaiein, „A Comparative Study of Vehicular Communication Simulation Platforms,” **IEEE Communications Magazine**, vol. 54, no. 12, pp. 78–86, Dec. 2016. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/45601691>
5. K. Abboud, H. A. Omar, and W. Zhuang, „Interworking of DSRC and Cellular Network Technologies for V2X Communications: A Survey,” **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, vol. 65, no. 12, pp. 9457–9470, Dec. 2016. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7513432>
6. L. Cheng, B. E. Henty, D. D. Stancil, F. Bai, and P. Mudalige, „Mobile Vehicle-to-Vehicle Narrow-Band Channel Measurement and Characterization of the 5.9 GHz Dedicated Short Range Communication (DSRC) Frequency Band,” **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, vol. 25, no. 8, pp. 1501–1516, Oct. 2007. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4346439>
7. M. Sepulcre, J. Gozalvez, and N. Cardona, „Experimental Evaluation of Cooperative Active Safety Applications Based on V2V Communications,” **IEEE Communications Magazine**, vol. 47, no. 5, pp. 128–136, May 2009. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/254463322>
8. T. Shimizu, T. Saito, K. Egawa, and K. Tokuda, „Performance Evaluation of IEEE 802.11p for V2V Communications,” **IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)**, 2013, pp. 1–5. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4350110>
9. J. Ploeg, B. T. M. Scheepers, E. Van Nunen, N. Van De Wouw, and H. Nijmeijer, „Design and Experimental Evaluation of Cooperative Adaptive Cruise Control,” **IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems**, 2011. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/229034343>
10. L. Gallo, S. Harri, and F. Filali, „Investigation of the 3GPP LTE Release 8, 9, and 10 Potential for VANETs,” **IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring)**, 2011, pp. 1–5. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/321088744>

11. A. Vinel, „3GPP LTE versus IEEE 802.11p/WAVE: Which technology is able to support cooperative vehicular safety applications?“ *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 1, no. 2, pp. 125–128, April 2012. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6155707>
12. C. Campolo, A. Molinaro, and A. Iera, „Multichannel Communications in Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey,“ *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 1, pp. 30–51, Firstquarter 2016. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6515061>
13. M. Boban, A. Kousaridas, K. Manolakis, J. Eichinger, and W. Xu, „Use Cases, Requirements, and Design Considerations for 5G V2X,“ *IEEE 21st International Workshop on Computer Aided Modelling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*, 2016. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8410403>