

Közlekedés és a mobilkommunikáció kapcsolata

Beküldve: 2021.11.28.
Elfogadva: 2023.07.28.
Online közzététel: 2023.12.18.



- ID KÚN GERGELY OTTÓ** Tanúsítási szakértő, KTI Magyar Közlekedéstudományi és Logisztikai Intézet, Tanúsítási igazgatóság CCS Iroda, kun.gergely@kti.hu, Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Híradástechnika Tanszék
- ID DR. WÜHRL TIBOR** Tanúsítási szakértő, Tudományos főmunkatárs, KTI Magyar Közlekedéstudományi és Logisztikai Intézet, Tanúsítási igazgatóság CCS Iroda, wuhrl.tibor@kti.hu, Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Híradástechnika Tanszék

Kivonat: A közlekedés és a mobilkommunikáció napjainkban már elválaszthatatlan fogalmak. A két tudományterület összefonódása már több évtizeddel ezelőtt elkezdődött. A gyors információáramlás nagymértékben javíthatja a közlekedésbiztonságot, ugyanakkor az információhiány egyre nagyobb veszélyeket rejt. A közlekedés és a mobilhálózati kommunikáció professzionális összekapcsolása a második generációs mobilhálózatok korában kezdődött. Bebizonyosodott, hogy a közlekedésbiztonság növelése érdekében alkalmazott mobilrendszereknek szigorú minőségi elvárásoknak kell megfelelniük. Napjainkban és a közeljövőben a közlekedés és a mobilkommunikáció egymásba fonódása az ötödik generációs rendszerekben csúcsonyul ki.

Kulcsszavak: mobil hálózatok; közlekedés; 2G; GSM-R; 5G; KPI; Key Performance Indicators, fő minőségi mutatók

Relationship between mobile communication and transport

Abstract: Transportation and mobile communication are nowadays inseparable concepts. Merging of the two disciplines began more decades ago. The fast transmissions of information can greatly improve traffic safety, but the lack of information can cause dangerous situations. The professional interconnection of transportation and mobile network communication began in the age of 2G mobile networks. It has been proved that application of mobile systems in transportation – in order to increase the safety – requires very high levels of key performance indicators to the bearer network. Today and in the near future, the intertwining of transportation and mobile communication will be much stronger in context of 5G systems.

Keywords: mobile networks; transport; 2G; GSM-R; 5G; KPI; Key Performance Indicators

Bevezetés

Az 5G (5. generációs) mobilhálózatok rendszertechnikája és kialakítási lehetőségei sokrétű felhasználási lehetőségeket biztosíthat, de fontos kiemelni azt, hogy az 5G önmagában nem kész megoldásokat jelent, hanem lehetőségek sokaságát. A közlekedéssel való együttműködés már a második generációs (2G) hálózatokban is megjelent (GSM-R – Global System for Mobile Communications – Railways) (ETSI, 2010), ami a kötöttpályás közlekedés támogatását valósítja meg.

Információs társadalomban élünk, a világ felgyorsult, és ezzel együtt a közlekedés is. A vasúti szerelvények biztonságos, ugyanakkor nagy sebességű és pontos közlekedésének feltétele a gyors információcsere. Az Európai Vonatbefolyásoló Rendszer (European Train Control System - ETCS) (Jahnsen et al., 1997) ezt a célt igyekszik elérni, amely L2 (Layer 2) szinten kommunikációs infrastruktúraként a GSM-R rendszert használja. A GSM-R rendszer második generációs mobilhálózati szabványokon alapul, amely néhány vasútspecifikus elvárással került kiegészítésre. Az információcsere során az üzenetek általában rövidek, kis adatmennyiséget jelentenek, ugyanakkor a késleltetési időre vonatkozó követelmények szigorúak, és a fejlődéssel egyre szigorúbbakká válnak.

A mobilhálózatok fejlődése és generációváltásai (2G-4G) során a tendencia az egyre nagyobb adatátviteli sebesség elérése volt, de a technikai megoldások – és elsősorban a csomagkapcsolási elvek használata – a késleltetési idő (transfer delay) növekedését eredményezte. A végpont-végpont között kialakuló, eredő késleltetési idő több késleltetés összegéből adódik. Az egyes megoldások (például átviteltechnika) ugyan költséghatékonyak, de a minőségi mutatók tekintetében jelentős romlást okoznak.

A közcélú felhasználásban ez a késleltetési idő-emelkedés inkább csak kényelmetlenséget okoz, viszont közlekedésbiztonsági szolgáltatások szempontjából kritikus lehet. Áttörést jelenthet az ötödik generációs (5G) mobilhálózati szabványok megvalósítása, amelyekben az egyik fókuszban lévő feladat a késleltetési idők extrém alacsony szinten tartása.

A 3GPP (3rd Generation Partnership Project) által kiadott szabványok közül már a 4G LTE (Long Term Evolution) Release 13-ban, majd a Release 14-ben (2017) megjelentek a közlekedést támogató újabb generációs kommunikációs lehetőségek (V2X – Vehicle to everything) (3GPP, 2020a).

Az 5G projekt fő kiadásának a Release 16-ot tekintjük (3GPP, 2020a). A szabványcsomag egyes elemeinek kibocsátása 2020. év folyamán folyamatos volt, amelyekből a legfontosabbak a következők: Multimédia Priority Service, LAN (Local Area Network) támogatás az 5G-ben, vezetékes és vezeték nélküli technikák konvergálása az 5G-ben, terminálpozíció meghatározása, 5G műholdas hozzáférés, titkosítás, streaming szolgáltatások továbbfejlesztése, IoT alkalmazások bővítése, Vehicle-to-everything alkalmazási réteg szolgáltatásainak kialakítása és a meglévők migrálása az 5G rendszerébe.

A Release 17 (3GPP, 2020a) kiadása 2021. évben zajlott és zajlik, ami elsősorban a megvalósított alkalmazások és szolgáltatások finomításait és továbbfejlesztéseit tartalmazza:

- NR-light (New Radio Light), kis mennyiségű adat átvitel optimalizálás,
- az NR (New Radio) 52,6 GHz feletti frekvenciák használata, beleértve a licence mentes 60GHz sávot is,
- Multi SIM (Subscriber Identity Module),
- NR multicast, broadcast,
- teljesítmény optimalizálás,
- pozíciómeghatározás tökéletesítése.

5G rádiós rendszere

Az 5G RAN áttekintése

Az 5G rádiós hozzáférési hálózatának (5G RAN – Radio Access Network) főbb technológiai szabványelemei a 3GPP által kiadott Release 15-ben jelentek meg még 2019-ben (3GPP, 2020a). Ez a szabványcsomag az 5G SA (StandAlone) megoldásait tartalmazza, míg a korábbi kiadások a 4G és az 5G integrációs megoldásait, együttműködési kérdéseit tárgyalták. (NSA – Non-StandAlone).

A Release 15 az 5G számára két frekvenciatartományt (FR – Frequency Range) különböztet meg:

- FR1: 450 MHz – 7125 MHz és
- FR2: 24250 MHz – 52600 MHz.

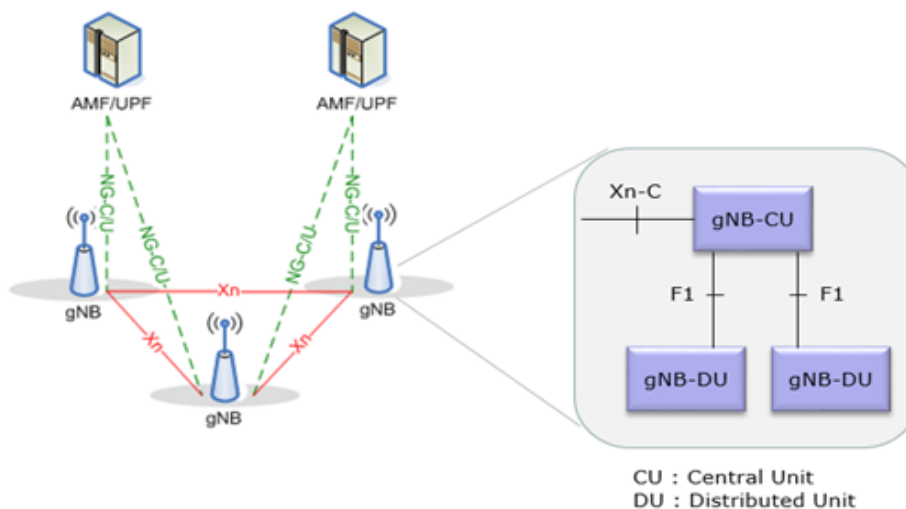
FR1-ben mind a 4G LTE, mind az 5G NR működhet Non-StandAlone módban, míg az FR2-ben csak az 5G NR lehet jelen (StandAlone).

Az FR1 sávban, főként annak alacsonyabb frekvenciájú tartományában, elsősorban nagyobb területeket lefedő makrocellák alakíthatók ki. Az ilyen cellák antenna rendszere – még 5G esetén is – elsősorban szektorsugárzókból állhatnak, bár városi környezetben még makrocellák esetén is előnyös lehet a MIMO elvet (Multiple-In Multiple-Out) kihasználó többantennás megoldások alkalmazása.

FR2 esetén milliméter nagyságrendű hullámhosszok esetén a terjedési jellemzők miatt kisméretű cellák alakíthatók ki. Ebben a tartományban működő cellákban az 5G egyedül működhet, és jellemzően MIMO alapú többantennás megoldások kerülnek implementálásra.

Architektúra változások az 5G-ben

A 3GPP az 5G RAN felépítését az 1. ábra szerint értelmezi:



1. ábra A 3GPP 5G architektúrája

Forrás: https://www.sharetechnote.com/html/5G/5G_RAN_Architecture.html (2022.03.31)

Az 5G maghálózata az NG interfészeken keresztül csatlakozik a bázisállomásokhoz (ng-eNB – next generation evolved NodeB, gNB - next generation NodeB). Az adatátvitel a bázisállomások között közvetlenül valósul meg az Xn interfészeken. A bázisállomások közül a gNB felépítése látható az 1. ábra jobb oldalán. A 3GPP ajánlása szerint a bázisállomások két részre osztottak: elosztott, „Distributed Unit” (DU) és központi, „Centralized Unit” (CU) egységekre. A DU-k a felhasználókhöz közelebb esnek, míg a CU-k a maghálózati oldalon találhatóak, a maghálózathoz közelebb. Ezen túlmenően még Control plane – User plane funkcionális felosztás is definiált, ami alapvetően a vezérlést és a felhasználói funkciókat különíti el. Az egyes blokkok között, a szabvány értelmében, szintén definiált interfészek találhatóak, melyek az ábra alapján az F1 (F1-U és F1-C) és az E1 (RF Wireless World, 2021).

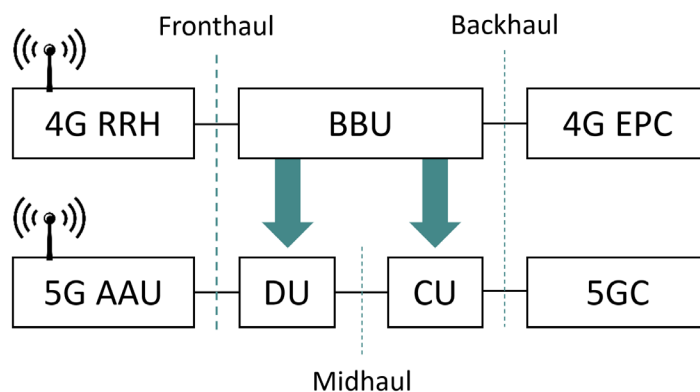
Hálózati operátorok hatására az 5G RAN struktúra határozottan a nyitottság felé halad. A „nyitottságot” elsősorban a hálózat operátorok támogatják, de egyes gyártók is részben vagy egészben kiállnak ezen irányvonal mellett. Az openRAN model (RCR Wireless News, 2020) értelmében az összekapcsolt eszközök és hálózat építő elemek - gyártótól függetlenül - kompatibilisek egymással. Ez úgy lehetséges, hogy a 3GPP által definiált interfészeken túl további interfészek szabványosítása is megtörténik.

5G RAN split

Az 5G-hez ajánlott architektúrák között az openRAN modell (RCR Wireless News, 2020) egyre népszerűbb.

A 2. ábra felső részén a „klasszikus” 4G hozzáférési hálózati megvalósítás látható. A 4G-s RRH (Radio Remote Head) és a BBU (BaseBand Unit) között található összeköttetést megvalósító hálózatrészt Fronthaulnak hívjuk. A BBU és a maghálózat közötti hálózati kapcsolatot pedig Backhaulnak.

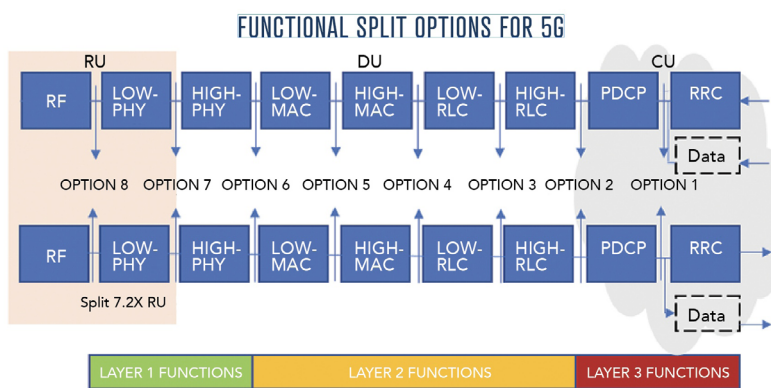
A 2. ábra alsó részén az 5G RAN struktúrákban a BBU két részre osztott, a DU (Distributed Unit) és CU (Central Unit) alkotóelemekre. Ezen alkotóelemeket az úgynevezett Midhaul hálózatrész kapcsolja össze. A Fronthaul az 5G AAU-val (Active Antenna Unit), míg a Backhaul a CU és az 5G CORE (maghálózat) között létesít kapcsolatot.



2. ábra 5G BBU felosztása DU és CU egységekre

Forrás: Saját szerkesztés

A BBU szétbontás funkcionálisan több helyen történhet meg, amelyek hatással vannak a hálózat jellemzőire (átviteli késleltetés, késleltetés ingadozás (jitter) stb.) és a minőségi mutatókra (KPI – Key Performance Indicators). A 3. ábra a RAN split funkcionális lehetőségeit szemlélteti:

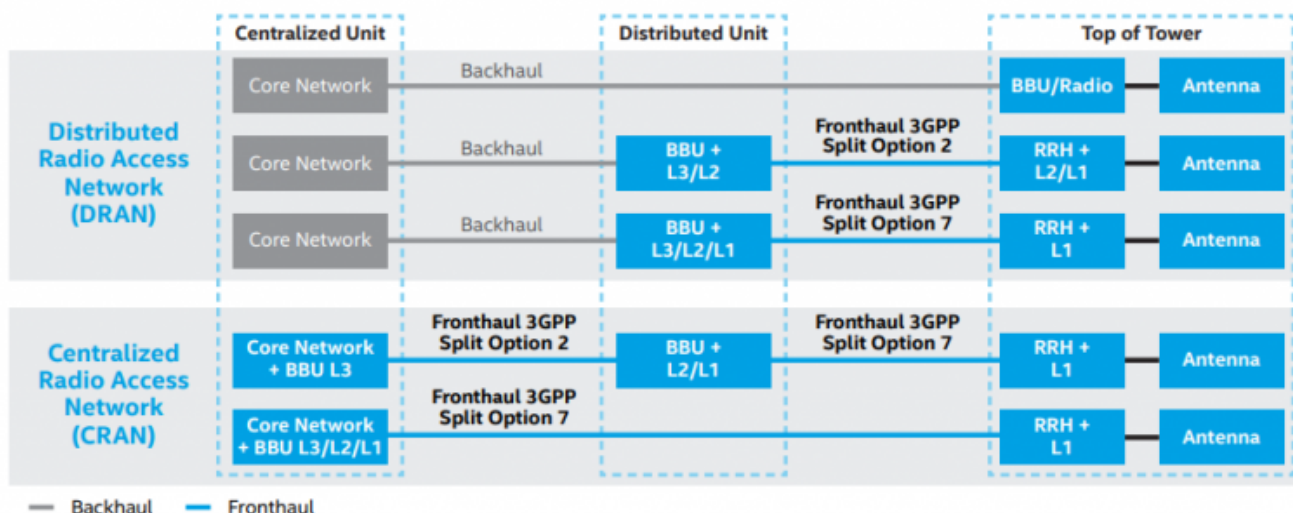


3. ábra 5G BBU funkcionális felosztási lehetőségei

Forrás: (Andersson, 2021)

A RAN split helyét az elvárt felhasználási mód fogja megadni, vagyis a kettéosztás helye hatással van a RAN hálózat minőségi mutatóira (KPI).

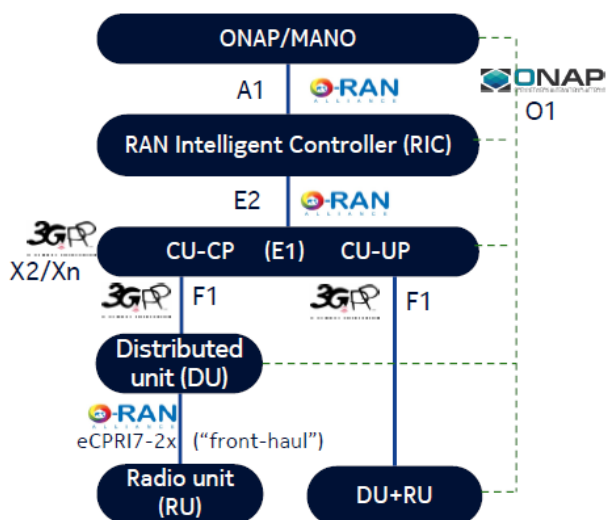
DRAN (Distributed Radio Access Network) és CRAN (Centralised Radio Access Network) esetén a 3GPP az Option2 és Option7 megoldást támogatja és szabványosította. Ennek megvalósítási lehetőségei láthatók a 4. ábrán.



4. ábra 5G BBU funkcionális felosztási lehetőségei

Forrás: (Moniem-Tech, 2021b)

Az openRAN szövetségek további interfész specifikációinak helyét az 5. ábra szemlélteti:



5. ábra Az openRAN szövetségek által definiált interfészek

Forrás: (Moniem-Tech., 2021a)

A Common Public Radio Interface (CPRI) lehetővé teszi a csomagkapcsolt adatok hatékony továbbítását és a RAN payloadok Ethernet formátumú továbbítását. Az eCPRI-t az Ericsson, Huawei, NEC és a Nokia szabványosította, de gyártói szabadságot enged meg (Nokia, 2021; Ericsson, 2021). Az eCPRI7-2x interfésszel az openRAN célja ezen eljárás teljesen nyitottá tétele.

Az O-RAN Alliance által definiált A1 interfész a hálózatmenedzsment funkciókat valósítja meg. Több protokollelem még kidolgozás alatt áll. A feladat itt a Non Real Time – RIC (RAN Intelligent Controller) és a Near-Real Time RIC összekapcsolása.

Az O-RAN Alliance E2 interfésze, mely az openRAN struktúrában biztosítja a RAN Intelligent Controller és az O-CU, O-DU és O-eNB kapcsolatát. Ezek együtt, egy úgynevezett E2-node-ot alkotnak. Az E2 interfészen kizárólag „control-plane” (vezérlő) protokollok kommunikációja zajlik. (RF Wireless World, 2021)

5G Fronthaul Timing

Az 5G hálózatok kialakításában kiemelt cél a késleltetési idő és annak ingadozásának alacsony szinten tartása. Ennek teljesülésének egyik feltétele a hálózat építőelemeinek pontos szinkronizálása. Az órajel frekvencia szinkronizálásán túl a fázishelyesség is elvárt. A szinkronizálást támogató protokollok az IEEE1588 Precision Time Protocol (PTP) és a Synchronous Ethernet (SyncE).

Berendezések szinkronizálása 5G hálózatokban

A csomagkapcsolási elv miatt a hálózat berendezéseinek nem feltétlenül kellene szinkronizáltan működni, hiszen egy hálózati építőelembe megérkező csomag a memóriában tárolást követően egy másik ütemezéssel továbbítható a szomszédos rendszerelemnek. Nagy adatmennyiséget kezelő eszközöknek a nagyméretű memóriakezelés okozhat gondot. A hálózatokban működő berendezések interfészei egyre magasabb adatátviteli sebességet tesznek lehetővé, de ez egyben azt is jelenti, hogy egységnyi idő alatt jelentős mennyiségű adat érkezik az eszközbe, amit belső memóriában tárolni kell. Az eltárolás és az onnan történő kiolvasás nagy feladatokat ró a berendezés beágyazott vezérlőjére. Egymással szinkronizálatlan eszközök esetén a belső memória kihasználása pulzáló, jitters lesz. A pillanatnyilag nagymértékben feltöltött, esetleg túlcsozdult memória adatvesztést is eredményezhet.

A fenti negatív hatások a hálózati építőelemek precíz összeszinkronizálásával csökkenthetők. Csomagkapcsolt hálózati építő elemek hatékony szinkronizálására a Precision Time Protocol (PTP) szolgál. Az első verziójú PTP-t az IEEE 1588-2002 publikálta. A 2008 évben megjelenő második verzió nem biztosít kompatibilitást a 2002 verzióval. A 2019 évben megjelenő módosított időszinkron eljárás (IEEE 1588-2019) már felülről kompatibilis a 2008 évi verzióval (IEEE, 2019a).

Korunk hálózati elvárásait jobban kielégítő adaptáció az IEEE802.1AS szabványként (IEEE, 2019b) jelent meg, elsősorban az Audio, Video bridging és a Time-sensitive networking elvárások kielégítésére.

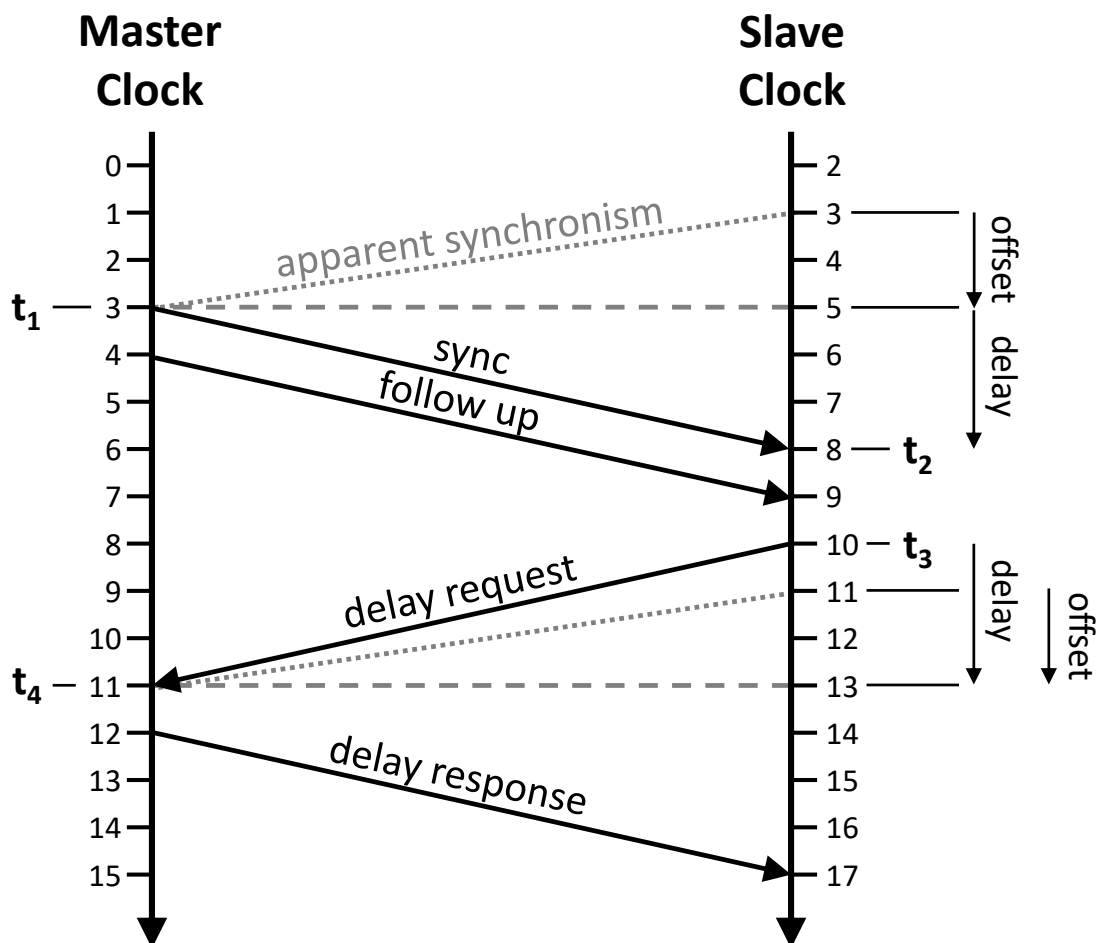
A PTP úgynevezett Master – Slave architektúrát követ, ahol a referenciát a „Grandmaster” (Root Timing Reference) adja. A szinkronizálás, és így a működés alapgondolata az, hogy a szinkronizáló üzenetekben található időbélyegek (time stamp) és az üzenet beérkezési időbélyegjei alapján az egyes eszközök órája (órajel frekvenciája, esetenként fázispontossága is) korrigálható, szinkronizálható. Az IEEE 1588v2 PTP fontosabb, szinkronizálást támogató protokoll elemei a következők:

- A Sync, Follow-up, Delay-Req, Delay-Resp üzenetekkel történik a szinkronizálás.
- A Pdelay-Req, Pdelay-Resp, Pdelay-Resp-Follow-Up a transzparens óra használja a kommunikációs médiumok késleltetésének lemérésében.

A megfelelő szinkronizált állapot eléréséhez több alapfeltételnek is teljesülnie kell, amelyek a következők:

- Feltételezzük, hogy az Ethernet interfész chip hardware támogatással pontosan tud időbélyeget (time stamp) generálni és beültetni az üzenetbe. Itt meg kell említeni, hogy az operációs rendszerekben kialakított szoftver alapú PTP is létező megoldás, de ezek kialakítását nem tárgyaljuk, mert hálózati szinkron megvalósításhoz nem biztosítanak megfelelő pontosságot.
- Feltételezzük, hogy a két összekapcsolt Ethernet alapú interfész adás és vétel átviteli ideje (transfer delay) közel azonos.
- Feltételezzük, hogy a szinkronizációs üzenetek váltásának ideje olyan kicsi, hogy ez alatt nincs lényegi órajel vándorlás.

A fenti feltételek bekövetkezése esetén a szinkronizálás folyamatát a 6. ábra szemlélteti:



6. ábra PTP szinkronizációs folyamat

Forrás: (IEEE, 2019a)

Az időtengely fentről lefelé mutatja az idő múlását. A baloldali tengely a szinkronizációt biztosító „master”, míg a jobboldali tengely a szinkronizálni kívánó „slave” eszköz óráját mutatja. A szinkronizáció során az a cél, hogy a „master” órajelhez húzzuk a „slave” eszköz órajelét. Ehhez meg kell határoznunk az órajel eltolódást, vagyis az offsetet. A szinkronizációs folyamat a „master” által küldött sync üzenet küldésével kezdődik, amely a „master” clock órája szerint a „t1” időpillanatban hagyja el az interfészt. Ezt a „t1” időt tartalmaznia kell magának a sync üzenetnek. Ez persze nem kis feladat, hiszen az interfészen kiküldendő üzenet összeállítás először az interfész memóriájában történik meg, így az időbélyeg beszúrás is, és majd ezt követően történhet a sync üzenettovábbítás.

Ezt a problémát, mint esetleges pontatlanságot a sync üzenet után küldött follow_up üzenetküldéssel van lehetőség korrigálni. A follow_up üzenet sokkal pontosabb „t1” időpillanatot tartalmazhat: a sync üzenet tényleges kiküldési idejét.

A sync üzenet a „slave” órája szerint a „t2” időpillanatban érkezik, a „master” órája szerinti „t1” pedig kiolvasható a sync follow_up időbélyegből. Nem sokkal ezt követően a „slave” órája szerinti „t3” időpillanatban a „slave” egy delay_request üzenetet küld a „master” eszköznek, ami a „master” órája szerint a „t4” időpillanatban érkezik meg. A „t3” időpillanatot a „slave” feljegyzi, de mint időbélyegnek nincs jelentősége a „master” számára, így nem áll fenn a sync üzenetnél továbbított időbélyeg probléma. A „t3” időpillanat a „master” számára nem releváns, így a delay_request üzenetet nem követi (még opcionálisan sem) follow_up.

A „master” órája szerint feljegyzett „t4” időpillanat viszont fontos a „slave” eszköz számára, ezért ezt az időt a delay_request-re adott delay_response üzenetben továbbítja a „master” a „slave”-nek.

A fenti szinkronizációs folyamat végén a „slave” számára rendelkezésre áll a „t1”, „t2”, „t3” és „t4” érték. Ezekből az időbélyegekből az (1) összefüggéssel számítható az átviteli késleltetési idő („delay”):

$$delay = \frac{(t2-t1)+(t4-t3)}{2} \quad (1)$$

A helyesen szinkronizált 5G hálózati építőelemek támogatást nyújthatnak a transfer delay és a transfer delay jitter minőségi mutató (KPI) teljesüléséhez.

MINŐSÉGI MUTATÓKKAL KAPCSOLATOS ELVÁRÁSOK

Elvárások a kötőpályás közlekedésben

A második generációs mobilhálózatok időosztásos elven működő, áramkörkapcsoláson (CS - circuit switched) alapuló rendszerek. Az adatátvitel (CSD - Circuit Switched Data) is áramkörkapcsolással valósul meg.

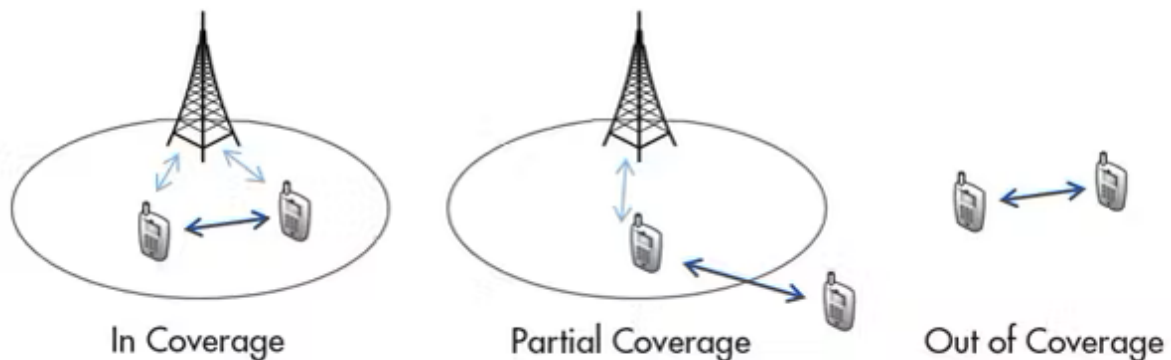
A 2G rendszer kiegészítéseként jelent meg a General Packet Radio Service (GPRS). A rádiós interfészen (2G Um) kialakított áramkörkapcsolási elv a CSD kommunikációban adatvesztést eredményez egy handover esemény során. A rövid ETCS üzenetek (tipikusan néhány száz byte méret) átvitelét támogató felsőbb rétegi protokollok gondoskodnak a hibamentes és stabil átvitelről. A szabványok kizárják a sűrű handover események, például „ping-pong handover” bekövetkezését, mivel ezek jelentősen megnövelnék az adatvesztés szintjét.

Nem kötőpályás közlekedés igénye a kommunikációs csatornával szemben

Kötőpályás közlekedés esetén az elvárás az, hogy a pályabiztosító berendezés állapotinformációi kis késleltetéssel és nagy megbízhatósággal eljussanak a jármű fedélzeti rendszerébe, valamint a jármű adatok a pályaszakaszt felügyelő számítógépbe (ETCS RBC). A hálózattal kapcsolatos minőségi mutatókat a SUBSET-093 (ERTMS, 2005) írja elő. Nem kötőpályás járművek esetében az elvárások lényegesen magasabb szintűek. A közlekedési utak eseményei rendkívül sokrétűek és nagy mennyiségben, gyorsan változóak. Ez a kommunikációs csatorna jóval kisebb késleltetését engedi meg, ami maximum 1-2 milliszekundum nagyságrendű lehet, de akár milliszekundum alatti idő is lehet az elvárás. A megbízhatónak tekinthető adatcsatorna adatátviteli sebessége is valószínűsíthetően magasabb, mint az ETCS L2 esetén megvalósuló 4800 bit/s, illetve 9600 bit/s.

A közlekedő járművek pontos helyadat információinak is rendelkezésre kell állniuk, hiszen így biztosítható egy adott jármű környezetében közlekedők számára a szükséges haladási információk halmaza. Ezeket az elvárásokat a 2G szabványelemeket megvalósító eszközök nem tudják biztosítani, viszont a 4G és főként az 5G maghálózati, valamint RAN szabványokban megvalósítható eszközök nagy valószínűséggel igen.

A 3GPP Release 12 szabványban jelent meg a sidelink fogalom (7. ábra). A szabvány támogatja az eszközök közvetlen kapcsolatát, teljesen lefedett, részben lefedett és lefedettség nélküli környezetben is: ennek megfelelően az egyes UE-k (User Equipment) adása hálózat által ütemezett módon (network directed) történhet, melyet TM1-nek nevezünk (Transmission Mode 1), míg lefedetlen esetben az UE adás véletlenszerűen indul, amelyet „Autonomously scheduled” módnak hívunk, ami a TM2 (Transmission Mode 2).



7. ábra UE-k sidelink kommunikációja

Forrás: (Barberis, 2018)

A hálózatvezérelt adás esetén (TM1) a Physical Sidelink Control Channel (PSCCH) segítségével valósulhat meg az erőforráskiosztás.

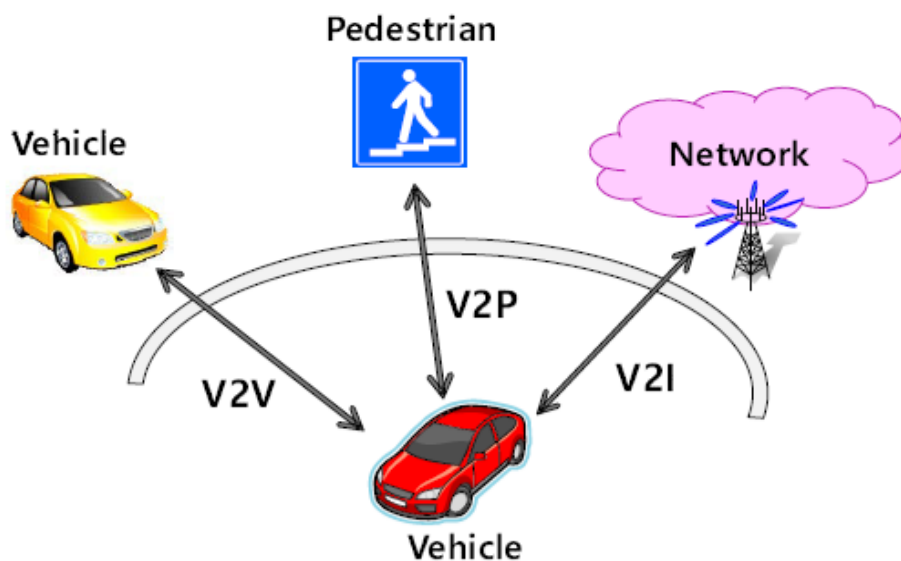
A fentiek szerint az UE-k hálózati támogatás nélkül is képesek a kommunikációra, de mivel ekkor nincs hálózati lefedés, és így hálózatvezérelt erőforrás kiosztás sincs, ezért az UE-k időben véletlenszerűen induló adásaik miatt előfordulhatnak ütközések.

V2X kommunikációs módok

Az 5G NR interfészen kialakított sidelink alapú V2X kommunikációt több csoportra bontjuk.

- V2V – Vehicle to Vehicle;
- V2I – Vehicle to Infrastructure;
- V2P – Vehicle to Pedestrian;
- V2N – Vehicle to Network.

A fenti felsorolást a 8. ábra szemlélteti:

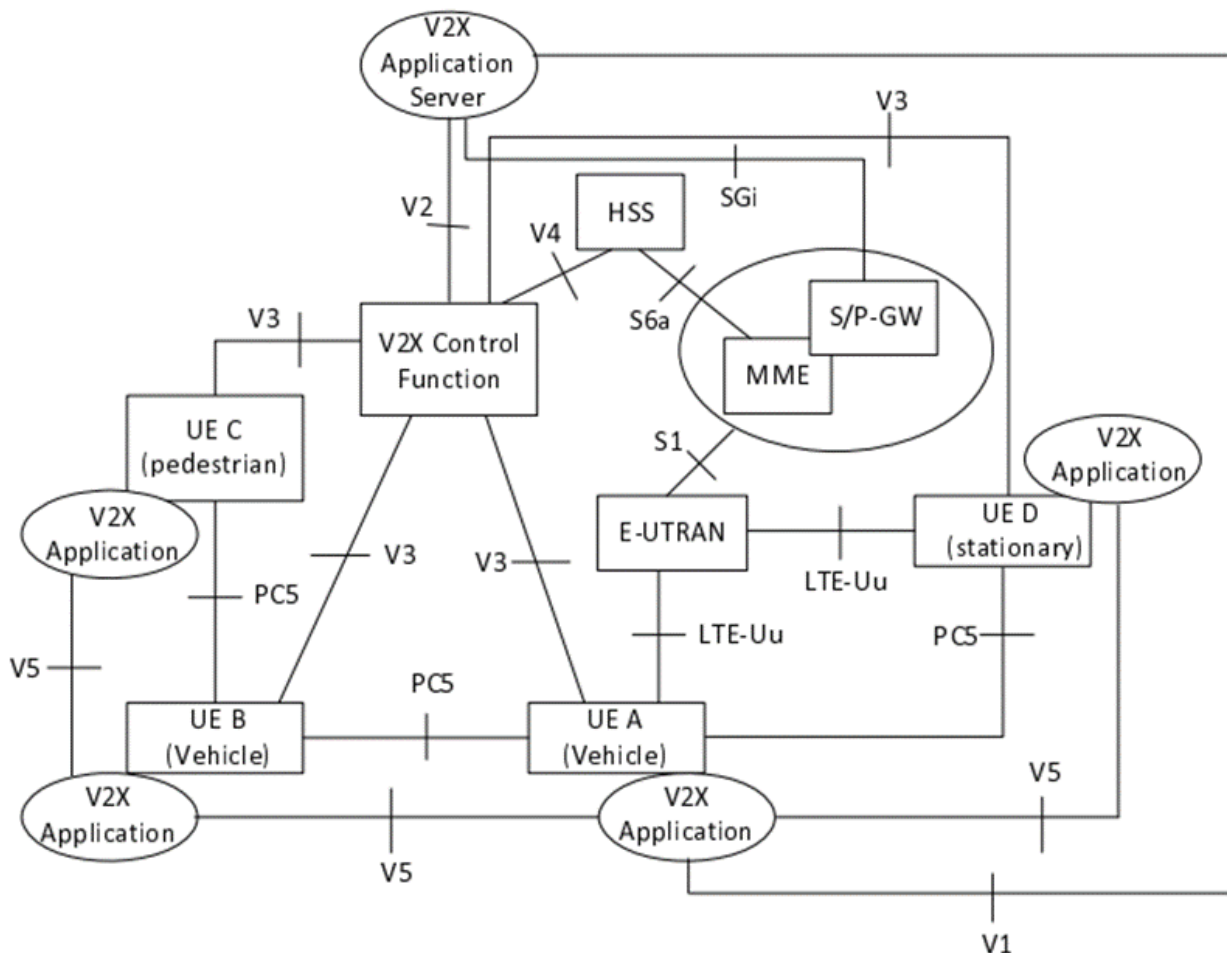


8. ábra V2X típusok (V2V, V2P és V2I)

Forrás: (ETSI, 2020)

A V2X kommunikáció rendszerét a 3GPP TR 26.985 ver 16.0.0 Release 16 szabványcsomag definiálja (3GPP, 2020b; ETSI, 2020). A kommunikációs kapcsolódást a 9. ábra szemlélteti.

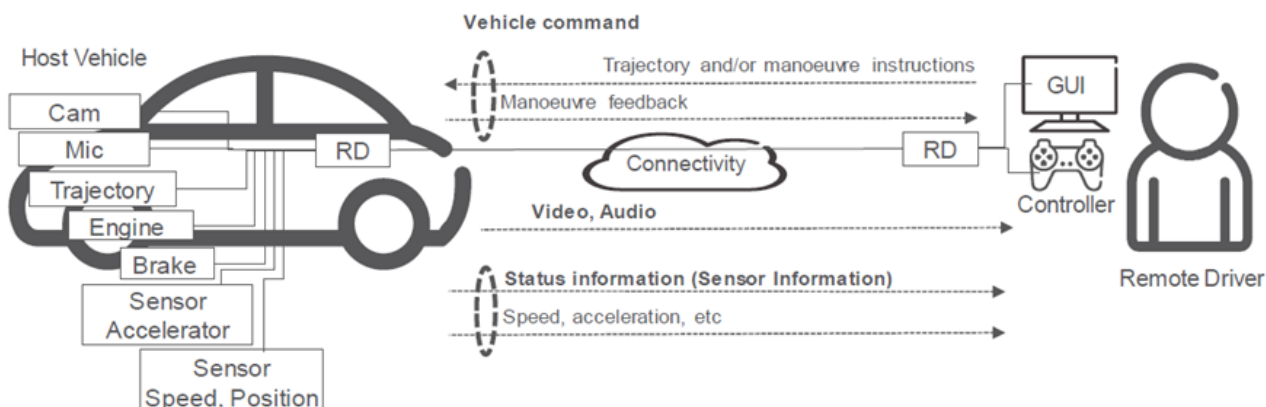
A közlekedés résztvevői a PC5 vagy az LTE-Uu interfészt használják kommunikációra. Az LTE-Uu konvencionális pont-pont vagy pont-multipont kapcsolatot képes biztosítani nagy adatátviteli sebességgel és jó QoS-sel (Quality of Service). A PC5 ugyan korlátozottabb áthidalható távolsággal, de pontosabb helymeghatározási információkkal, jelentősen kisebb késleltetési idővel és kisebb lefedettségi érzékenységgel biztosítja a kommunikációt.



9. ábra V2X kommunikáció kapcsolatainak szemléltetése

Forrás: (ETSI, 2020)

Az 5G V2X szolgáltatásai között első lépésben egy távvezetés (Remote Driving - RD) koncepció kidolgozása történt meg. Ennek a fontosabb elemeit a 10. ábra szemlélteti:



10. ábra RD koncepció

Forrás: (ETSI, 2020)

Az RD modell szerint a távvezetést végző személy a számára beérkező grafikus és audioalapú információk alapján hozza meg döntéseit és adja ki a jármű számára a manőverezési parancsokat. Már ebben a modellben is rendkívül jól látszik a késleltetési idő alacsony szinten tartásának követelménye. Az információvesztés is jelentősen korlátozott. A manőverező utasítások (fékezés, gyorsítás, fordulások – pályaiív stb.) kimaradása és információvesztése nem megengedett. Abban az esetben, ha a szállítási (OSI rétegmodell 4. rétegébe sorolt) protokoll TCP (Transmission Control Protocol), akkor a hibamentes átvitel implicit módon, újraküldéssel megvalósul, viszont UDP (User Datagram Protocol) esetén felsőbb rétegbeli protokoll szükséges ennek biztosítására. Látható, hogy a csomagvesztések és azok szükséges javítása a parancsok késleltetési időit megnövelik. Rádiós csatornán nincs ismert mód arra, hogy hibamentes átvitelt garantáljunk. Légköri zavarok, más eszközök által kiadott zavarjelek szimbólumhibát eredményezhetnek a fizikai kommunikációs csatornában. Rádiós csatornában a zavart okozó jelek jóval magasabb valószínűséggel fordulnak elő, mint a vezetett összeköttetések esetén.

A következő gondolat kísérletben egy fékezési információ (parancs) átvitelét vizsgáljuk:

A távvezető (remote driver) fékezés trigger információt kíván küldeni. A távvezérelt jármű szempontjából a letöltési irányú csatornán (downlink channel) a fékező parancs eljut a járműhöz. Ezt a parancsot nyugtázni kell a feltöltési irányú csatornán. UDP alkalmazása esetén felsőbb rétegbeli protokollal kell biztosítani az esetleges hibajavítást, TCP esetén a protokoll újraküldéssel biztosítja a hibajavítást. Adott esetben, ha a kommunikáció egyirányú késleltetésének maximális értéke 1 ms, akkor a hibamentes állapot esetén is az üzenetváltás minimum 2 ms időt igényel. Ehhez az időhöz adódik hozzá az üzenetfeldolgozási és kiértékelés idő is. Csomagvesztés esetén, a csomagvesztés ténye a vezérlő oldalon „timeout” elven történhet, vagy TCP esetén egy további üzenet küldés és annak visszaigazolás tényéből derülhet ki. Ebből látszik, és feltételezhető, hogy további néhány milliszekundum hátrányba kerülünk.

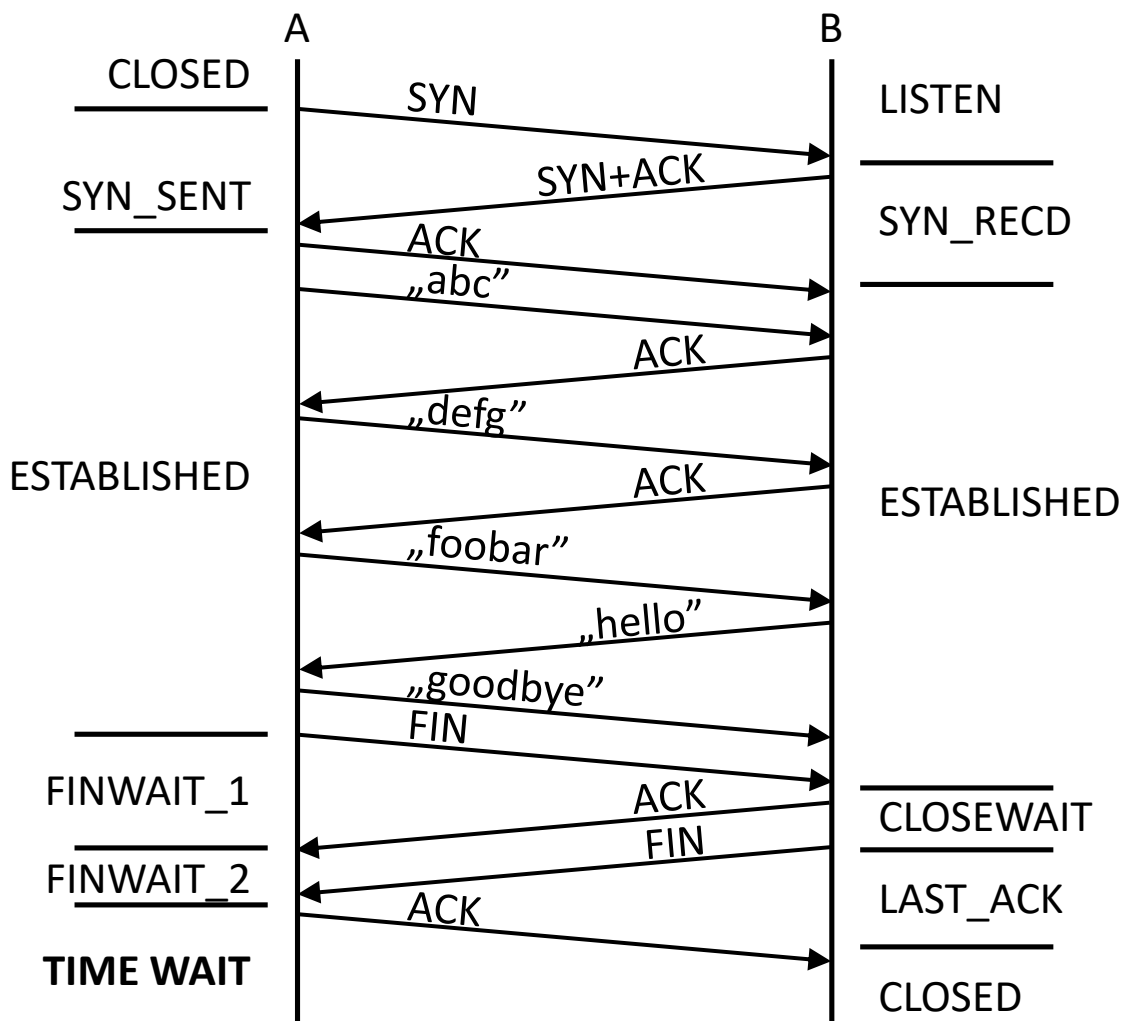
A fő kérdés az, hogy mennyi újraküldési lehetőséggel tervezhetjük a rendszert. Például 100ms maximális megengedett parancs késleltetés esetén a fenti késleltetésekkel körülbelül maximálisan 20 újraküldésünk lehetséges a hibajavításra. Ez jónak tűnik, de a hibát a rádiós interfészen valami zavar, interferencia okozhatta nagy valószínűséggel és elképzelhető, hogy ez még folyamatosan jelen is van. A csomósodó hibahelyek miatt látható, hogy nagy veszélyt rejt magában az információvesztés.

A korábbi 2G alapú közlekedésbiztonságot támogató rendszerek esetén (GSM-R alapú ETCS L2 és L3) is számoltunk kommunikációs csatorna kiesésekkel és hibacsomósodásokkal. Itt is az újraküldés és a rendkívül rövid üzenet hossz javított a kommunikáció megbízhatóságán. Teljes kommunikációs csatorna kiesés esetén definiáltak egy maximális kiesési időt (T_NVCONTACT), amely elteltével a száguldó vonatszerelvény automatikus vészfékezésbe kezd. Az ETCS vonatbefolyásoló rendszerek esetén a T_NVCONTACT értéke 30 másodperc, amely Magyarországon, szigorítva, 18 másodperc.

A távvezetés (RD) és önvezető járművek fontos érzékelői közé tartoznak a videokamerák, radarok, lidarok és audio események detektálására alkalmas mikrofonok. Ezen eszközök időben és halmazon folytonos analóg jelet biztosítanak, amelyek jelét időben és halmazon diszkréttevé digitális jelfolyammá alakítjuk azokat. A mintavételezésnél Shannon mintavételi tételét be kell tartanunk, ellenkező esetben a jel spektrum átlapolódásával, az úgynevezett aliasing jelenséggel szembesülhetünk. Az egyes mérési minták „n” bites számként ábrázolva alkotják a digitális jelfolyam egyes mintáit. Ezeket keretbe kell szervezni a küldés előtt. Az információátvitel késleltetését a hálózati késleltetési időn túl a mintavételi frekvencia és az egy keretben összefogott mintaszám fogja meghatározni. A kis késleltetési idő elvárás akkor teljesülhet, ha viszonylag kis mintaszám kerül továbbításra egy információegységben, vagyis egy csomagban. Ennek a hátránya az, hogy egy információegység hasznos információtartalma és ehhez viszonyított adatátviteli protokoll fejlécadat (overhead) hosszaránya rossz értéket fog mutatni. A helyes arány a tényleges felhasználási elvárások számadatai alapján kalkulálhatók.

A streamelt adatfolyamok esetén általában némi információvesztés elfogadott lehet, vagyis, ha néhány információegység kiesik, akkor azok hiánya digitális jelfeldolgozó algoritmusokkal pótolhatók.

A járművek több, a közlekedés során dinamikusan változó fizikai jellemzők mérésére szolgáló szenzorral is felszereltek. Tipikusan ilyen szenzorok a gyorsulásérzékelők, sebességmérők, pozíciómeghatározók stb. Ezen szenzoradatok is folyamatos jelfolyam kommunikációs adatok lehetnek. Az adatfolyam ekkor konstans bitstreamnek tekinthető, a hibajavítás többnyire nélkülözhetetlen. A konstans bitfolyam hatás miatt a kommunikációs csomagok ütemezetten közlekednek a kommunikációs hálózatban, így a visszairányú nyugtázás is ehhez szinkronizált lesz.



11. ábra TCP kapcsolat létrehozása, majd kommunikáció és bontás

Forrás: (Dordal, 2021)

Egy TCP viszony esetén (11. ábra) a hármas kézfogást (szinkronizációt) követően a nyugtázás (ACK) is egy jelnyelvnek tekinthető, így a kimaradt, vagy elveszett csomagok gyorsan detektálhatókká válnak, így az automatikus újraküldés is megtörténhet.

Láthatjuk, hogy a késve érkező információ és a meg nem érkezett információ úgynevezett információhiányt eredményez.

Fentiekből látszik, hogy a közlekedésbiztonság szavatolása rádiós összeköttetésen nem valósulhat meg teljeskörűen, ezért ezeket a rendszereket inkább közlekedésbiztonságot támogató rendszereknek kell tekintenünk. Ez azt jelenti, hogy a kommunikációs csatorna kiesést minden esetben egy „vérszorgatókönyv” szerint kezelni kell, vagyis nem maradhat elvarratlan szál.

Az 5G rendszerekben a csatornakiállításoknál már a fizikai közeg hozzáféréseknél is igyekszünk javítani a rendelkezésre állást.

Következtetések

Jelenleg a közlekedés és a mobilkommunikáció együttműködése mindennapivá vált. A jelenleg kialakuló 5G hálózatok számos ponton nyújtanak és fognak nyújtani közlekedéssel kapcsolatos szolgáltatásokat. Ezen alkalmazások tekintetében a hálózat által teljesített minőségi mutatóknak kiemelt szerepük van, a hálózat fejlesztésekor a paraméterek kívánt szintjeinek elérése alapvető fontosságú. A biztonságos közlekedést támogató alkalmazások kiszolgálására az 5G hálózatok képességei már jelenleg is alkalmasak, de a biztonságkritikus forgalmak továbbítása – a rádiós csatorna kiszámíthatatlanságai miatt – még jelentős kihívások elé állítja a fejlesztőket.

Felhasznált irodalom

- 3GPP (2020): The Mobile Broadband standard, 3GPP Releases, <https://www.3gpp.org/specifications/releases> (2022.03.31.)
- 3GPP (2020): TR-26.985, Vehicle-to-everything (V2X); Media handling and interaction, Technical report (TR), 6. o.
- O. Andersson (2021.05.17): Functional Splits: the foundation of an Open 5G RAN, Benetel, <https://www.5gtechnologyworld.com/functional-splits-the-foundation-of-an-open-5g-ran/> (2022.03.31.)
- M. Barberis (2018): Sidelink and V2X Modeling and Simulation with LTE Toolbox, MathWorks, 3. o.
- P. L. Dordal (2021): An Introduction to Computer Networks, TCP transport. pp 5. <http://intronetworks.cs.luc.edu/~l/html/tcp.html> (2022.03.31.)
- Ericsson (2021): Mobile radio access networks and 5G evolution, 5-7. o.
- ERTMS (2005): GSM-R Interfaces; Class 1 Requirements, SUBSET-093
- ETSI (2010.06): Railways Telecommunications (RT); Global System for Mobile communications (GSM); Detailed requirements for GSM operation on Railways, Technical Specification, ETSI TS 102 281 V2.1.0. 5-6. o.
- ETSI (2020.11): TR 126 985 V16.0.0. 11-12. o.
- IEEE SA (2019): IEEE 1588-2019, IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems, ISBN:978-1-5044-6341-6
- IEEE SA (2019), P802.1AS-Rev, Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications, ISBN:978-1-5044-6430-7
- A. Janhsen – K. Lemmer – B. Ptok – E.Schnieder (1997): Formal Specifications of the European Train Control System, in IFAC Proceedings Volumes, 1139-1144. o.
- Moniem-Tech. (2021.03.14) : How does O-RAN Alliance Open Telecom Interfaces? <https://moniem-tech.com/2021/03/14/how-does-o-ran-alliance-open-telecom-interfaces/> (2022.03.31.)
- Moniem-Tech (2021.04.05): Functional Split Options for 5G Networks, <https://moniem-tech.com/2021/04/05/functional-split-options-for-5g-networks/> (2022.03.31.)
- Nokia (2021), NDAC network overview, Nokia Digital Automation Cloud, 10-12. o.
- RCR Wireless News (2020.07.08): Open RAN 101–RU, DU, CU, RCR Wireless News, https://www.rcrwireless.com/20200708/open_ran/open-ran-101-ru-du-cu-reader-forum (2022.03.31.)
- RF Wireless World (2021): 5G NR network interfaces-Xn,NG,E1,F1,F2 interface types in 5G, <https://www.rfwireless-world.com/Tutorials/5G-NR-network-interfaces.html> (2022.03.31.)