

Magas rendelkezésre állású kommunikációs hálózatok megvalósítása vasúti környezetben

Kún Gergely

kun.gergely@kvk.uni-obuda.hu

orcid: 0000-0003-0572-5177

Híradástechnika és Infokommunikáció Tanszék, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Óbudai Egyetem, 1034 - Budapest, Bécsi út 96/b.

KTI – Közlekedéstudományi Intézet, 1119 - Budapest, Than Károly u. 3-5.

Wührl Tibor

wuhrl.tibor@kvk.uni-obuda.hu

orcid: 0000-0002-7522-3511

Híradástechnika és Infokommunikáció Tanszék, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Óbudai Egyetem, 1034 - Budapest, Bécsi út 96/b.

KTI – Közlekedéstudományi Intézet, 1119 - Budapest, Than Károly u. 3-5.

A vasúti biztosító rendszerek napjainkban számítógépek sokaságából állnak, még az egyszerűbb funkciókat is beágyazott vezérlőjű számítógépek valósítják meg. Ezen berendezések összekapcsolása szabványosított kommunikációs interfészekon történik pont-pont, vagy pont-multipont jellegű hálózati kapcsolatokon. A kommunikációs csatornákkal kapcsolatos megbízhatóság elvárásokat szabványok rögzítik [1,2]. A magas működésbiztonság redundáns hálózati kialakításokkal valósítható meg, melyek gyakran gyártótól függő megvalósítások [3]. Ezen megoldások teljesítményét és alkalmazhatóságát vasúti környezetben előzetesen kell megvizsgálni, hogy megfelelnek-e az üzemeltetői követelményeknek és az előbbieken említett szabványoknak. A redundáns kialakítások esetében például figyelembe kell venni az egyes meghibásodott, vagy kieső komponensek, hálózatrészek kiváltásához szükséges átkapcsolási, helyreállítási időket, melyek – többek között – nagymértékben függenek az átkapcsolást támogató protokolloktól is [4].

Kulcsszavak: telekommunikáció, vasúti kommunikáció, redundancia, késleltetés, hálózatmenedzsment, magas megbízhatóság

1 Bevezetés

A technológiai fejlődés a vasúti közlekedést támogató rendszereknél is folyamatos. Az új technológiák bevezetésével együtt elvárás, hogy a mindennemű biztonsági mutatókat is javítsa, mivel a biztonság a közlekedés minden területén fontos, a vasútnál is elsődleges rendű. Vasúti kontextusban a biztosítóberendezések töltik be a biztonságkritikus funkciók megvalósítását, melyek még az egyszerűbb funkciók esetében is számítógépek, vagy beágyazott vezérlőjű számítógépek sokaságából állnak.

Általános esetben az országos vasúthálózat teljes egészében lefedi az adott országot. A biztosítóberendezés kommunikációs hálózatának is le kell fednie az adott ország teljes területét (vagy az üzemeltető szolgáltatási területét), és megbízható kommunikációs szolgáltatásokat kell nyújtania. Ennek kivitelezési módjaival foglalkozik ez a cikk, összefoglalást ad az alkalmazható és bevált tervezési irányelvekről, megvalósítási módokról, aminek végső célja és eredménye, hogy magas rendelkezésre állású, a biztonsági funkciókat maradéktalanul kiszolgáló kommunikációs hálózat jöhessen létre.

A vasutak kommunikációs rendszere két nagy csoportra bontható: a fedélzeti és a pályamenti rendszerek [5]. Kutatásunk csak a pályamenti kommunikációs rendszerek kialakításának kérdéseivel foglalkozik, de mivel a két csoport együttműködése alapvető fontosságú a kapcsolódási pontok tekintetében szó esik a fedélzeti eszközökről is érintőlegesen.

A következő részben összefoglaljuk a biztonsági szempontból fontos vasúti szabványokat és előírásokat, a rendszerelemek megfelelőségének ellenőrzési és értékelési lehetőségeit. A 3. részben összefoglalást adunk a vasúti biztosítóberendezésekről és azok kommunikációs tulajdonságairól, követelményeiről. A 4. rész tárgyalja a biztonsági kritériumoknak megfelelő kommunikációs csatornák kialakításának bevált lehetőségeit, kihívásait és irányelveit, majd a Következtetésekkel zárul a cikk.

2. Vasúti előírások, szabványok áttekintése

Az ipar számos területén használt eszközöknek, berendezéseknek szükséges bizonyos biztonsági elvárásoknak megfelelni, a stabil, megbízható működés, vagy az emberi egészség, épség megóvásának érdekében. Iparágak szerint a tipikus elvárásokat szabványokba foglalták, amik a gyártóknak, beszállítóknak eszközeik tekintetében kötelezően betartandó vagy opcionális elvárásokat fogalmaznak meg.

A Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság (International Electrotechnical Commission) által kiadott IEC 61508 [6] nemzetközi szabvány általánosságban

tárgyalja az automatikus biztonságtechnikai rendszerek tervezésének, alkalmazásának, karbantartásának és működési módjainak elvárásait.

Az IEC 61508 szabványon alapuló funkcionális biztonsági szabványok négy, úgynevezett SIL szintet (Safety Integrity Levels) határoznak meg. Az egyes szinteknek megfelelő eszközök, meghibásodási valószínűségben különböznek. A meghibásodás valószínűségét évre vonatkoztatva, vagy folytonos üzem esetén, órán belüli időegységre vonatkoztatják. Például egy SIL1-es szintnek megfelelő eszköz meghibásodási valószínűsége 0,01..0,1 között kell lennie, órára vetítve ez 10^{-6} .. 10^{-5} érték közötti lesz folytonos üzemű rendszerek esetén. A SIL1 követelményei a leggyengébbek, a SIL4 követelmények a legmagasabbak. Az alábbi táblázat összefoglalja az egyes szintekhez tartozó, szabványban rögzített, meghibásodási valószínűségeket éves és órás skálára vetítve. A kockázat csökkentési tényező az éves meghibásodásból számítható reciprokképzéssel, ez a mutatószám indikálja, hogy adott szint alkalmazása hányad részére csökkenti a kritikus rendszerekben a hiba valószínűségét.

1. táblázat

SIL szintek mutatószámai az IEC 61508 szabvány [6] alapján

Biztonsági szint <i>Safety Integrity Level (SIL)</i>	Hiba átlagos valószínűsége		Kockázat csökkentési tényező
	<i>évente</i>	<i>óránként</i>	
SIL 4	$10^{-5} \dots 10^{-4}$	$10^{-9} \dots 10^{-8}$	$10^5 \dots 10^4$
SIL 3	$10^{-4} \dots 10^{-3}$	$10^{-8} \dots 10^{-7}$	$10^4 \dots 10^3$
SIL 2	$10^{-3} \dots 10^{-2}$	$10^{-7} \dots 10^{-6}$	$10^3 \dots 10^2$
SIL 1	$10^{-2} \dots 10^{-1}$	$10^{-6} \dots 10^{-5}$	$10^2 \dots 10^1$

Az IEC 61508 (magyar változata az MSZ-EN 61508) csak általános célokat, iparágtól független előírásokat fogalmaz meg. Vasúti alkalmazások esetében a fenti szabvány specifikus változatai szakterületenként az alábbiak:

- Az MSZ-EN 50126(-1) (IEC 62278) szabvány a biztonsági elektronikai rendszerek specifikációival és minősítésével foglalkozik a következő szempontokból: megbízhatóság, működőképesség, karbantarthatóság és biztonság, RAMS előírása és bizonyítása, 1. rész: Az általános RAMS folyamat (RAMS – Reliability, Operability, Maintainability and Safety). [7]. (Ez az első része az MSZ-EN 61508-1 szabványnak.)
- Az MSZ-EN 50128 (IEC 62279) szabvány a vasúti vezérlő és biztonsági rendszerekhez kapcsolódó szoftverekre vonatkozik, melyek a kommunikációs, adatfeldolgozó és biztonsági eszközökben kerülnek alkalmazásra [8]. (Ez a harmadik része az MSZ-EN 61508-1 szabványnak.)
- Az MSZ-EN 50129 (IEC 62425) szabvány témája az elektronikus biztosítóberendezések (vasúti kommunikációs, adatfeldolgozó és biztonsági

eszközök) minősítése és jóváhagyása. [1]. (Ez a második része az MSZ-EN 61508-1 szabványnak.)

- Az MSZ-EN 50159 (IEC 62280) szabvány biztonsági távközlés átviteli rendszerekben való követelményeit tartalmazza [2].

Néhány általánosabb célú szabványt is megemlítünk, melyek a vasúti rendszerekbe telepített elemekre vonatkoznak:

- Az MSZ EN 50121 szabványsorozat az elektromágneses összeférhetőséggel foglalkozik vasúti alkalmazásokban. Ezen belül a negyedik rész témája a jelző- és távközlő készülékek zavarkibocsátása és zavartűrése. [9]
- Az MSZ EN 50155 szabvány a vasúti járművekbe beépítendő elektronikai eszközök beépítésével, szigetelésvizsgálattal, eszközök immunitásának (pl. hőmérséklet, rázkódás, ütődés, páratartalom tekintetében) vizsgálatával foglalkozik. [10]

2.1 Nemzeti szabályozások

Minden országban a nemzetközi szabályokon, szabványokon felül nemzeti szabályok, rendeletek vonatkoznak a vasút üzemeltetésnek minden szegmensére. Ezeket európai szinten évek óta igyekeznek egységesíteni, és a nemzeti előírások közötti különbségeket csökkenteni, elsősorban az európai szintű átjárhatósági szempontok miatt, de még valószínűleg évekig együtt kell élnünk ezekkel az egyre csökkenő számú különbségekkel.

Magyarországon a vasúti kommunikációs rendszerekre vonatkozó előírásokat a hagyományos vasúti rendszerek kölcsönös átjárhatóságáról szóló 103/2003 (XII.27) GKM rendelet [11] tartalmazza.

E rendelet része Az Országos Vasúti Szabályzat I. kötete. Ebben a kötetben a „B” fejezet (A hagyományos vasúti rendszer strukturális alrendszere) 3. részének (Ellenőrző-, irányító-, jelző- és biztosítóberendezések) két fejezete szól távközlő és informatikai rendszerek megvalósításáról. (3.2 - Vasúti távközlő berendezések - és a 3.3 - Vasúti informatika). [11]

2.2 Üzemeltetői szabályozások

Üzemeltetői szinten speciális kézikönyvek (helyi szabványok) határozzák meg az adott vállalat specifikus elvárásait, ezek a MÁV esetében az ún. Feltétfüzetek. MÁV kontextusban például a távközlési kábelek, berendezések építésére, elhelyezésére és üzembehelyezésére vonatkozó üzemeltetői speciális előírások is ilyen feltétfüzetben [12] találhatóak. Természetesen ez a feltétfüzet is hivatkozva a fentebb áttekintett, kapcsolódó szabványokat.

2.3 Megfelelőség értékelés és tanúsítás szerepe

Vasutak esetében a vonatkozó szabványoknak való megfelelést legkésőbb a normál üzem megkezdése előtt, de legtöbb esetben még a tervezés és kivitelezés során is igazolni kell.

2.3.1 Eszköz és rendszerszintű vizsgálat

Biztonsági szempontból a megvalósított rendszerek és alkatrészeik eszközszinten és rendszerszinten is értékelendők.

Gyártói oldalon az eszközszintű tanúsítás történik legtöbb esetben. Ezzel igazolni tudják, hogy az általuk gyártott rendszerelemek teljesítik-e a vonatkozó szabványok előírásait, esetleg a nemzeti és üzemeltetői elvárásokat is, hogy egy adott térség vasúti rendszerében alkalmazható-e az eszközük.

Ha egy gyártó egy üzemeltető projektjébe beszállító lesz, vagy akar lenni, a rendszerintegrátor elsőként ellenőrzi, hogy eszközszinten az integrációhoz rendelkezésre álló eszközök teljesítik-e a vonatkozó követelményeket. Ezeket a gyártó a korábban már megszerzett tanúsítványokkal tudja legegyszerűbben igazolni. A tervezés kezdeti fázisában fontos szerepe van, hogy az eszközök tanúsítványai tartalmazzanak-e limitációkat, mert esetleg épp ezek a nem megvalósított funkciók miatt nem alkalmazható az adott eszköz.

Rendszerintegrációnál fontos tény, hogy a leggyengébb láncszem elve mindig teljesül. Akár egy darab rendszerelem, ami alacsonyabb szintet teljesít a kiépített rendszer elemeihez képest, a teljes rendszer biztonsági szintjét lerontja a saját szintjére. Rendszerintegráció esetén olyan eshetőség is felmerülhet, hogy bár az egyes elemek azonos eszközszintű biztonsági szinttel rendelkeznek, az általuk létrehozott rendszer nem teljesíti ugyanazt a szintet.

Az egyes elemek összekapcsolását biztosító kommunikációs interfészeknek, eszközöknek, kialakításuknak olyan biztonsági szinttel kell rendelkezniük, amely teljesíteni tudja az elvárt szintet. Ezért nagyon fontos és elkerülhetetlen, hogy az egyes elemek külön vizsgálata mellett a belőlük összeállított rendszer vizsgálata, ellenőrzése, tesztelése és tanúsítása is elvégzésre kerüljön.

Összetett rendszer esetén már a tervezés során meg kell határozni a műszaki és üzembiztonsági jellemzőket és elvárásokat, amik a kivitelezés különböző fázisaiban folyamatosan ellenőrizhetők.

3. Vasúti biztosítóberendezések és kommunikációjuk

Ebben a részben egy áttekintés olvasható a jelenlegi vasúti biztosítóberendezési rendszerek legfontosabb elemeiről.

3.1 Vasúti biztosítóberendezések elemei

3.1.1 Számítógép alapú biztosítóberendezés

A számítógép alapú biztosítóberendezés (Computer Based Interlocking - CBI) rendszere a biztosítóberendezési funkciókat megvalósító központi szerverből, a terepi eszközökből és az ezeket összekötő hálózathoz áll. A leggyakrabban CBI-nek nevezett szerver az adott területet kiszolgáló biztosítóberendezés rendszer központja.

A számítógépes biztosítóberendezések általában két részből állnak: az egyik rész a biztonsági funkciókat valósítja meg, rájuk vonatkozó követelmények közel hibamentes működést írnak elő (SIL4 szint). A másik rész az úgynevezett „nem létfontosságú” funkciókat valósítja meg, mint például a kézi beavatkozó eszközök, állapotjelzők, visszajelző monitorok üzeme.

A biztosítóberendezés központjában a pályamenti biztosítóberendezések információinak gyűjtése, kiértékelése történik, és beavatkozásokat hajtanak végre az előírt és biztonságos vonatközlekedési követelményeknek megfelelően.

Egy vasúttársaságnak rendszerint több biztosítóberendezés központja van, melyek egy-egy terület ellátásért felelősek. Az egyes területek biztosítóberendezéseinek szerverei össze vannak kötve egymással információcsere céljából, de a fő feladatuk a saját régiójuk biztonságának és folyamatos üzemének biztosítása. [13]

3.1.2 Rádiós irányítóközpont

Az ETCS 2-es és 3-as szintjében (ld. 3.2 rész) jelenik meg a rádiós irányítóközpont (Radio Block Center – RBC), ami a vasúti automatikus vonatbefolyásoló rendszer pályamenti központi berendezése. Egy vasúttársaságnak több RBC-je is van (hasonlóan a CBI-khez), számuk az RBC-k kapacitásának függvénye, hogy mennyi vonatot képesek egy időben nyilván tartani. Egy RBC kapcsolatban van a szomszédos RBC-kkel, az adott területért felelős biztosítóberendezés szerverével (CBI), a központi forgalomirányítással (CTC – Centralized Traffic Control) és esetleg más elemekkel.

Az RBC-k feladata többek között a szerelvények menetengedélyeinek kezelése, vezérlőparancsok generálása a biztosítóberendezés és a pályamenti eszközök információinak felhasználásával, és ezek rádiós továbbítása a GSM-R hálózaton keresztül a fedélzeti berendezés felé.

3.1.3 GSM-R

A GSM-R speciális célú cellás földi mobil rádiórendszer, melynek szolgáltatási területe lefedi a kiépített ETCS 2-es és 3-as szintű vonalszakaszok teljes hosszát. A rádiós lefedettségnek szakadásmentesnek kell lenni, mert a rádiós rendszer feladata, hogy az adott területet kiszolgáló RBC központ és a közlekedő, ETCS képes vonatok között folyamatos adatkapcsolatot tartson fent. A kapcsolat megszűnése esetén – rögzített időzítés letelte után – vészfékezésre kényszerítik a vonatot (ETCS 2 esetén az alapértelmezett T_NVCONTACT értéke 30 másodperc, ez Magyarországon szigorított értékű: 18 másodperc). A GSM-R rádióhálózat RBC-kből, bázisállomás-vezérlőkből és bázisállomásokból áll. Ez a pályamenti és a fedélzeti berendezések közötti kommunikáció hordozószolgáltatása.

3.1.4 Balise, LEU

Az ETCS 2-es és 3-as szinteken a GSM-R hálózaton keresztül juttatjuk el a vonatbefolyásoláshoz szükséges fix és változó információkat a járművekre. A balizok feladata ettől fogva már nem a változó jelzési képek átvitele, ellenben a pontos helymeghatározásban veszik ki a részüket, mint egyfajta stabil, fix kilométerkövek. A LEU, avagy pályamenti elektronikus egység (Lineside Electronic Unit) vezérelt baliz esetén a biztosítóberendezés és a baliz közötti információcserét valósítja meg.

3.2 Európai egységes vonatbefolyásoló rendszer

Az egy rendszerbe integrált rendszerelemek komplex szolgáltatásokat nyújthatnak a vonatrányítás számára. Ezt igyekszik megvalósítani Európában az ETCS (European Train Control System) automatikus vonatbefolyásoló rendszer, ami jelenleg is kiépítés alatt áll. Ennek a rendszernek az elsődleges feladata legkülönbözőbb üzemi helyzetekben a vonatforgalom felügyelete és biztonságának garantálása.

Az ETCS rendszer bevezetése fokozatosan történik, mindenhol a korábbi, különböző nemzeti rendszerek mellett működik. Az ETCS rendszernek szolgáltatási képességei szerint három szintje van. Jelenleg a kettős szint használata és kiépítése zajlik a legtöbb helyen. Európában – és országokon belül is – vannak vonalak, ahol már kiépítésre került a rendszer valamelyik szintje és vannak vonalak, ahol még nem. A következőkben összefoglaljuk az egyes szintek főbb tulajdonságait. [14,15]

3.2.1 Az ETCS szintjei

1. szintű ETCS

Az ETCS rendszer 1. szintje csak úgynevezett pontszerű vonatvezérlést tud megvalósítani, ez a szint a hagyományosnak mondható biztosítóberendezéseken alapul. Az 1. ábrán látható egy példa. Itt egy lokálisan megvalósított kommunikáció során jut el a vonatra az éppen aktuális jelzőkép. Ebben a változatban korszerű kommunikációs adatátviteli módok nem alkalmazottak, így ezzel a változattal nem foglalkozunk.



1. ábra

Az 1-es szintű ETCS csak pontszerű vonatvezérlést valósít meg [16]

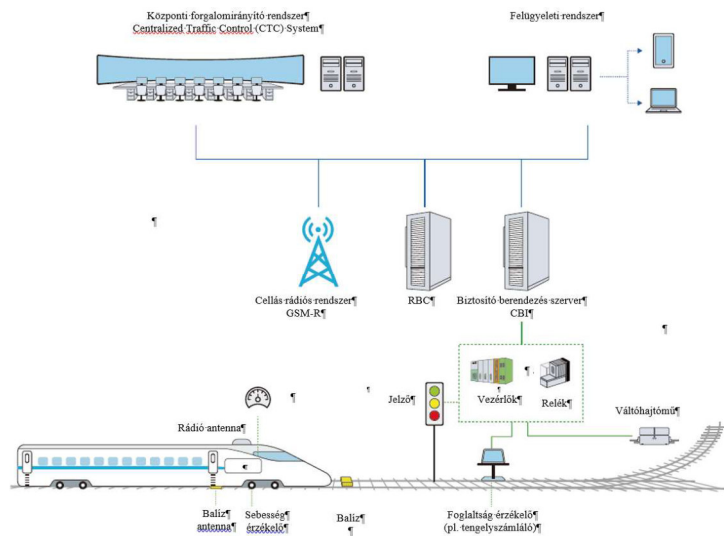
2. szintű ETCS

A 2. szintű ETCS is a hagyományos biztosítóberendezéseken alapul, azaz a vonatérzékelést sínáramkörökkel, vagy tengelyszámlálókkal valósítják meg. A biztosítóberendezés kapcsolatban áll az RBC-vel, ami működési területén belül kezeli a vonatok menetengedélyeit, automatizálva a közlekedésüket. A menetengedélyek, vezérlési- és állapotinformációk a GSM-R hálózaton keresztül jutnak el a szerelvények mozdonyaihoz, ahogy a 2. ábra is szemlélteti. Állapotinformációk terén a legfontosabbak a vonatok helyzete. Az ETCS L2 képes mozdony részben a meghaladott balizokból kiolvasott adatokból állapítja meg a helyzetét és továbbítja az RBC felé.

3. szintű ETCS

Az ETCS 3. szintje a jelenlegi legmagasabb szintű szolgáltatásokkal bíró változat. Ezzel a rendszerrel a rádiós vonatvezérlés teljes mértékben megvalósul: a folyamatos sebességfelügyeletől kezdve, az elméletben jó ötletnek tűnő mozgó blokkos rendszerig (fix térközös megoldás helyett). Ezen a szinten lehetőség van a jelzőberendezések teljes elhagyására is (a mozdonyvezető is elméletileg feladat nélkül marad). A fedélzeti elemek számára új feladatként jelenik meg a vonatintegritás ellenőrzése. Ez új eszközök telepítését jelenti a szerelvény vagonjaiba is, melyek folyamatos kommunikációs kapcsolatban állnak a mozdonyban kialakított integritást felügyelő rendszerrel. Ezzel a pályamenti

eszközök száma csökken, így a fenntartási költségek terén is jelentős megtakarítás érhető el.



2. ábra

2-es szintű ETCS rendszer blokkvázlata [17]

3.3 Vasúti kommunikációs rendszerek

Vasúti alkalmazások esetében sok, egymástól elkülönülő rendszer együttműködése valósítja meg a különböző funkciókat. Ennek oka, hogy az egyes funkciók fontossága, a rájuk vonatkozó követelmények különbözőek, rendszerint eltérő biztonsági követelményekkel is rendelkeznek.

Az eltérő igényű rendszereket általában külön rendszerként kell megvalósítani, ezzel biztosítható, hogy a különböző biztonsági szintek megvalósulása is teljesüljön rendszerenként. Ezt a korábban említett nemzeti szabályozás is kimondja [11].

Az interfészeket és a köztük lévő kommunikációs technológiákat tekintve meg kell különböztetni, hogy az egyes kommunikációs alrendszerek mennyire létfontosságúak a teljes rendszer biztonsági elvárásainak szempontjából. Ez főként a korábban már áttekintett vonatkozó szabványokon túlmenően a kiszolgáló alkalmazások szerint is kategorizálható.

Létfontosságú kategória a biztosítóberendezés kommunikációjának folyamatos biztosítása, ezért ezeket a hálózatokat magas megbízhatóságra kell tervezni. Ennek megoldásait tekintjük át a következőkben.

4. Megbízható kommunikációs hálózati megoldások

Napjainkban a tipikus második rétegbeli kommunikációs technológiák Ethernet protokollon alapulnak. Az Ethernet hosszú múltra tekint vissza, kezdetben tiltott volt a hurkokat tartalmazó hálózati topológia a protokoll alapvető működési elvei miatt. (Nem volt séma az esetleg hibásan továbbított és végtelen hálózati hurokban rekedt keretek észlelésére és eldobására.) Ezt a problémát többféle feszítő fa struktúra alapján működő protokoll kiegészítéssel oldották meg, amelyek már képesek voltak kezelni a hálózatban lévő hurkokat.

4.1 Redundáns adatátvitel megvalósítása

Kommunikációs téren, ha folyamatos és megbízható adatátvitelt szeretnénk biztosítani, bizonyos fokú redundancia lesz a kézenfekvő megoldás. Hasonlóképpen az adatfeldolgozás, az automatikus döntéshozatal esetén is ezzel találkozhatunk [18]. Ezekkel a megoldásokkal egy meglévő rendszer megbízhatósága is jelentősen növelhető.

Vasúti környezetben is elsődrendű a megbízhatóság. Biztosítóberendezések terén – a megbízható relé áramkörök alkalmazása után – elsősorban különböző típusú UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) kommunikációs módok szolgálták a megbízható átviteli adatkapcsolatokat, szükség szerint duplikáltak. Jelenleg még sok esetben találkozhatunk ilyen megoldásokkal, rendszerint végponti kommunikáció megvalósításban kapnak még szerepet. Azonban nagyobb távolságok esetén, több entitás összekapcsolásakor az Ethernet alapú megoldások az elterjedtebbek. A vasúti adathálózatokban a jövőben az Ethernet alapú kapcsolatok még szélesebb körű elterjedésére lehet számítani.

A redundancia nem feltétlenül jelenti az adott eszközök duplikációját. Hálózati kommunikáció esetében a duplikáció kiváltható a legtöbb esetben gyűrű topológiával, ami nagymértékben képes emelni a rendelkezésre állást és költséghatékony megoldás is. Gyűrűs szerkezet esetén, ha a gyűrűben egy kapcsolat megszakad, az adott csomópont a másik irányban továbbra is elérhető marad. Bár a hibásan működő kapcsoló és a hozzá kapcsolódó eszközök persze kiesnek a kommunikációból, de a hálózat többi része és eszközei tovább működhetnek és kommunikálhatnak. A gyűrűs topológiákban az alkalmazott útválasztási protokollnak képesnek kell lennie a hálózatban lévő hurok kezelésére, és hiba esetén a megfelelő és gyors helyreállítási képessége a fontos.

Ethernet esetében több feszítő fa alapú protokoll jelent meg kezdetben a hurkokkal rendelkező topológia kezelésére. Ezek legnagyobb hátránya, hogy lassúak, hibaelhárító sebességük másodperc nagyságrendbe esik, ami irodai környezetben talán elfogadható, de kritikus infrastruktúrák kommunikációjában nagyon kedvezőtlen nagyságrend. (STP, RSTP, MSTP protokollok [19,20,21])

4.1.1 Korszerű redundáns kommunikációs protokollok

Biztonságkritikus rendszerekben, milliszekundum nagyságrendben, vagy az alatt kell a helyreállítási időnek maradni. A PRP (Parallel Redundancy Protocol) és a HSR (High-availability Seamless Redundancy) protokollok [4,22] ezt az elvárást maradéktalanul teljesítik, valójában zéró helyreállítási időt produkálnak.

PRP esetén két független hálózat képezi a redundanciát, amikhez két Ethernet porttal rendelkező speciális hálózati csomópontok kapcsolódnak. Az Ethernet keretek két példányban kerülnek kiküldésre az adó oldalon a két független hálózatba. Vevő oldalon az elsőként érkező példány kerül továbbításra a felsőbb rétegek felé, a második eldobásra kerül. Ez a megvalósítás tisztán második rétegbeli, teljesen transzparens a felsőbb rétegek felé, alkalmazásukhoz a felsőbb rétegekben semmilyen változtatás nem kell. Felsőbb rétegek felől a második rétegbeli hálózat egy nagy megbízhatóságú hálózatként látszódik. A duplikált keretküldés biztosítja, hogyha keletkezik egy hálózati hiba, a másik keret ettől még célba ér, azaz nem szakad meg a kommunikáció. Máshogy fogalmazva ennek a megoldásnak a helyreállítási ideje zéró. Ezen túlmenően a duplikált keretek átvitele felhasználható a két hálózat állapotának, minőségi paramétereinek felügyeletére is (pl. hamarabb lehet hibára gyanakodni, ha megnövekszik a késleltetés az egyik hálózat esetében).

HSR használata esetén a hálózat topológiája gyűrű. A csomópontok itt is szintén két Ethernet porttal rendelkeznek és csatlakoznak a szomszédos csomópontokhoz a gyűrű vonalán. Az adó csomópont két keretet küld el egyidőben az ellentétes irányokba, és amelyik keret hamarabb ér a célállomásra, az kerül továbbításra a felsőbb rétegek felé, a másikat eldobja a csomópont. Költség szempontjából ez a megoldás a gyűrű topológia miatt kedvezőbbnek mondható, a többi mutatója pedig a PRP-hez hasonlóan alakul. [4]

4.2 A késleltetés problémái

Az egyre nagyobb sebességű vasutak esetén a kommunikációs hálózat késleltetésének nagysága egyre fontosabb kérdés. Létfontosságú, hogy a valós pályainformációk, sebességadatok és menetengedélyek időben a fedélzeten legyenek, mert egy vonat egy másodperc alatt akár több 10 métert is haladhat. A szükséges adatok késedelmes megérkezése felesleges vészmegállításhoz, rosszabb esetben balesethez is vezethet.

Napjaink kihívása, hogy a korábban alkalmazott szinkronizált időosztásos hálózatok helyett az összes kommunikációs hálózat tekintetében csomagkapcsolt hálózatok kerülnek kiépítésre. Csomagkapcsolt környezetben az átviteli késleltetés nagysága nem nyilvánvaló, mivel az a csomagok változó kezelési időigényein alapulnak. Ezzel szemben a régi szinkron rendszerekben ez a paraméter csak egy egyszerű konstans érték volt. A vasúti kommunikációs hálózatok esetében

kulcsfontosságú tényező, hogy olyan hordozó szolgáltatások és protokollok kerüljenek kiválasztásra, amelyek képesek kielégíteni és folyamatosan biztosítani az időzítési követelményeket.

4.3 Szinkronizáció

A csomagkapcsolt kommunikációs hálózatok szinkronizációja sem egyértelmű jelenleg, összehasonlítva a szinkronizált időosztásos hálózatokkal, ahol ez a hálózat jellegéből eredendően adódott.

Csomagkapcsolt hálózatokban a csomagtovábbításnak nem feltétlenül kellene szinkronizáltan működni, hiszen egy hálózati csomópontba megérkező csomag a memóriában tárolást követően egy másik ütemezéssel továbbítható lehet a szomszédos rendszerelemnek. A hálózatokban működő berendezések interfészei viszont egyre magasabb adatátviteli sebességet tesznek lehetővé, ez egyben azt is jelenti, hogy egységnyi idő alatt jelentős mennyiségű adat érkezik az eszközbe, amit belső memóriában átmenetileg tárolni kell. Egymással szinkronizálatlan eszközök esetén a belső memória kihasználtsága pulzáló, jitteres lesz. A pillanatnyilag nagymértékben feltöltött, esetleg túlsordult memória adatvesztést is eredményezhet.

A fenti negatív hatások csökkenthetők a hálózati építőelemek precíz szinkronizálásával. Csomagkapcsolt hálózati építő elemek hatékony szinkronizálására a Precision Time Protocol (PTP) szolgál.

Az első verziójú PTP-t az IEEE publikálta, majd megjelent ennek a szabványnak a második, javított verziója is. 2019-ben megjelenő újabb, módosított időszinkron eljárás [23] már felülről kompatibilis a korábbi kiadással. Korunk hálózati kihívásait jobban kielégítő adaptáció az IEEE802.1AS szabványként (IEEE, 2019b) jelent meg, elsősorban az Audio, Video bridging és az időkritikus hálózati alkalmazások elvárásainak kielégítésére. [24]

A PTP úgynevezett Master – Slave architektúrát követ, ahol a referenciát a „Grandmaster” (Root Timing Reference) adja. A szinkronizálás, és így a működés alap gondolata az, hogy a szinkronizáló üzenetekben található időbélyegek (time stamp) és az üzenet beérkezési időbélyegei alapján az egyes eszközök órája (órajel frekvenciája, esetenként fázispontossága is) korrigálható, szinkronizálható.

5. Következtetések

A vasúti közlekedést támogató rendszereknél az új technológiák bevezetésével együtt alapvető elvárás, hogy a biztonsági mutatók még tovább javuljanak. A vasúti biztosítóberendezések kommunikációs hálózatának technológiai fejlődése viszont

kihívásokat is tesz a fejlesztők elé, mert az újabb technológiák alkalmazása adott esetben néhány mutató romlását is hozhatja a sok előny mellett. Erre legjobb példa a csomagkapcsolt adattovábbítás és az ebből következő késleltetés ingadozás, illetve a hálózat eredendő aszinkronitása.

Magasfokú biztonságot és rendelkezésre állást megkövetelő kommunikációs hálózat megvalósításakor már tervezéskor figyelembe kell venni ezeket a kedvezőtlen tulajdonságokat. Előre tervezni kell a valószínű forgalom mennyiségével és ebben az esetben kis hibahatárral becsülhetők a hálózati elemek által okozott késleltetések. Fontos szempont még, hogy a hálózat terheltsége alacsony maradjon normál és magas fokú terheltség esetén is, tehát a hálózat kapacitását adott esetben jelentősen túl kell méretezni, egy hasonló forgalmú, de nem kritikus infrastruktúrát kiszolgáló hálózathoz képest. A késleltetés mellett fontos szempont még a rendelkezésre állás biztosítása is, amire a redundáns kialakítás a bevált módszer. Kommunikáció esetén az adatátviteli csatornák duplikálása a redundancia megoldásának kulcsa. Fontos viszont kiemelni, hogy ha duplikált az adatátvitel az nem feltétlenül jelenti az összes eszköz duplikálását. Ez a rendszer kiépítésnek költségvonzata terén is fontos tényező lehet.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük az Óbudai Egyetemnek és a KTI Magyar Közlekedéstudományi és Logisztikai Intézetnek kutatásunk támogatását.

Irodalomjegyzék

- [1] MSZ EN 50129 standard, “Railway applications. Communication, signalling and processing systems. Safety related electronic systems for signalling”, March 2019.
 - [2] MSZ EN 50159 standard, “Railway applications. Communication, signalling and processing systems. Safety-related communication in transmission systems”, January 2011.
 - [3] Moxa, “Moxa Redundancy Technologies”, 2023. <https://www.moxa.com/en/spotlight/industrial-ethernet/redundancytechnology/technologies#turbo>
 - [4] IEC 62439-3 standard, “Industrial communication networks – High availability automation networks - Part 3: Parallel Redundancy Protocol (PRP) and High-availability Seamless Redundancy (HSR)”, 2021.
 - [5] B. Jóvér, “ETCS, Az Egységes Európai Vonatbefolyásoló Rendszer”, MÁV Szolgáltató Központ Zrt. Baross Gábor Oktatási Központ, Budapest, 2006
 - [6] IEC 61508 international standard, “Functional safety of electrical / electronic / programmable electronic safety-related systems”, Edition 2.0, April 2010.
 - [7] MSZ EN 50126 standard, “Railway Applications. The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS).”, April 2018.
 - [8] MSZ EN 50128 standard, “Railway applications. Communication, signalling and processing systems. Software for railway control and protection systems”, November 2011.
 - [9] MSZ EN 50121-4 standard, “Railway applications. Electromagnetic compatibility Emission and immunity of the signalling and telecommunications apparatus”, May 2019.
 - [10] EN 50155 standard, “Railway applications. Rolling stock. Electronic equipment”, July 2021.
 - [11] 103/2003. (XII. 27.) GKM rendelet a hagyományos vasúti rendszerek kölcsönös átjárhatóságáról. Hatályos 2023.02.21. <https://njt.hu/jogszabaly/2003-103-20-0L>
 - [12] Vasúti távközlő- és biztosítóberendezési kábeláramkörök minőségi jellemzői Feltétfüzet, MÁV, 2019.
 - [13] P. Baczoni, “Vonali biztosítóberendezések”, MÁV Szolgáltató Központ Zrt. Baross Gábor Oktatási Központ, Budapest, 2019, ISBN 978-963-9852-34-1
 - [14] Feltétfüzet - Az ETCS L1 és L2 pályamenti alrendszerére vonatkozó alkalmazási követelményeire, 0.1.1. verzió, MÁV P-5600, 2008.
-

- [15] D. Kurhan, et al., “Development of the High-Speed Running of Trains in Ukraine for Integration with the International Railway Network”, Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 19, No. 3, pp. 207-218, 2022
 - [16] Kapsch, “European Railway Traffic Management System - ERTMS”, White paper, 2020.
 - [17] Hollysys whitepaper, “ERTMS/ETCS LEVEL 2 Solution”, Beijing, China, 2023. <https://www.hollysys.com/cms/show-754.html>
 - [18] S. Rosić et al., “Analysis of the Safety Level of Obstacle Detection in Autonomous Railway Vehicles”, Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 19, No. 3, pp. 187-205, 2022
 - [19] IEEE 802.1D, standard, “Local Area Network MAC (Media Access Control) Bridges”, 1998.
 - [20] IEEE 802.1w, standard, “Local and metropolitan area networks—Common specifications, Part 3: Media Access Control (MAC) Bridges—Amendment 2: Rapid Reconfiguration”, 2001.
 - [21] IEEE 802.1s, standard, “Local and Metropolitan Area Networks - Amendment to 802.1Q Virtual Bridged Local Area Networks: Multiple Spanning Trees”, 2002.
 - [22] M. Ostertag, “Seamless Redundancy with PRP and HSR”, 2022.
 - [23] IEEE 1588-2019, IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems, ISBN:978-1-5044-6341-6
 - [24] P802.1AS-Rev, Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications, ISBN:978-1-5044-6430-7
-