

RFID és LoRa alapú adatkommunikáció megbízhatóságának vizsgálata a mellékvonali forgalomirányításban

Papp Zoltán

Szerző: Papp Zoltán

Beosztás: egyetemi tanársegéd

Munkahely: Óbudai Egyetem (OE-KVK-EKRI) , 1034 Budapest, Bécsi út 96/b.

Szerző email címe: papp.zoltan@uni-obuda.hu

Absztrakt:

Kutatásom célja egy költséghatékony, osztott intelligenciájú forgalomirányító rendszer leírása kötőtpályás közlekedés számára. Decentralizált architektúrán alapul, ahol minden egyes vezérlőobjektum függetlenül végzi az adatfeldolgozást és hozza meg döntéseit. A járművek azonosítása RFID technológiával történne, ami pontos és valós idejű irány és pozíció (akár sebesség) adatokat tud biztosítani. Az elsődleges adatátvitel optikai csatornán keresztül történne, míg a másodlagos (redundáns) kapcsolat LoRa vezeték nélküli technológián alapulna, mely nagy hatótávolságot és alacsony energiafogyasztást biztosít. Laboratóriumi és terepi kutatásaim során megvizsgáltam a Lora működését több kapcsolódási módozattal. Eredményeink szerint, a LoRa kommunikáció az RFID-alapú azonosítással kombinálva megbízható, biztonságos és költséghatékony megoldást kínál a másodlagos kommunikáció biztosítására. Egy ilyen rendszer kiépítésénél jelentősen alacsonyabb költségekkel kell számolni, mint egy mai modern és Magyarországon alkalmazott fejlett vonatbefolyásolási rendszer, mint például a GSM-R esetén, éppen ezért az alacsony utasszámú mellékvonali közlekedésben jelentős szerepet játszhat.

Kulcsszavak: : Lora, Mote, Mérések, Vasút, Smart city, RFID, kommunikáció

1 Bevezető

A mai vasúti fejlesztések tükrében különleges figyelmet igényelnek a mellékvonali vasúti közlekedési hálózatok. Alacsony kihasználtságuk és fokozódó biztonsági igényük, biztonsági szabványok teszik különlegessé ezeket a vasútvonalakat. Ezért ezeken a vonalakon szinte elképzelhetetlen a bevezetése a hagyományos, központilag irányított vonatbefolyásoló és forgalomirányító

rendszereknek. A GSM-R és az ETCS rendszerek rendkívül magas beruházási költségekkel járnak, ami lassú megtérülést vagy soha meg nem térülést eredményez, tekintve az ilyen közlekedési hálózatok kihasználtságát. A karbantartási és üzemeltetési költségek is rendkívül magasak, amit esetleg egy önkormányzati tulajdonban lévő vasúti vonal soha nem tud kitermelni.

Ez alapján kutatásom célja egy olyan decentralizált, osztott intelligenciájú architektúra vizsgálata, leírása, melyben az adatkommunikáció az alap optikai hálózaton kívül LoRa vezeték nélküli hálózaton folyik, az eszközök, pályaelemek azonosítása pedig RFID rendszerrel történik. A pálya menti modulok az adatok alapján lokálisan döntési jogkörrel rendelkeznek.

A jelen tanulmány a doktori kutatásom két alapvető hipotézisét is alátámasztja mi szerint:

„az osztott intelligenciájú, úgynevezett ambient rendszerek a kötöttpályás közlekedésben a hagyományos centralizált irányítási struktúrák helyett is alkalmazhatók, képesek a döntési és adatfeldolgozási folyamatokat lokálisan, autonóm módon ellátni”

illetve

„az integrált biztonsági rendszerek alkalmazása lehetővé teszi a különböző irányítási alrendszerek komplex, egységes működését, amely a forgalomirányítás, a biztonságtechnika és a járműfelügyelet összehangolt vezérlését eredményezi.”

A tanulmányom alapját a 2020 júliusában, a Vasúttörténeti Parkban végrehajtott terepi mérés képezi, amely a LoRa adatátvitel mellett az RFID azonosítási folyamatok pontosságát vizsgálta vasúti környezetben.

2 Rendszerfelépítés és eszközök

2.1 Az azonosítási alrendszer

A gördülő állomány, esetleges pályamenti objektumok azonosítása RFID technológiával történik melynek eszköztípusai az RFID címke (Tag) és az RFID-olvasó. Ezek az eszközök alkalmasak arra, hogy valós időben azonosítsák és helyzetét kövessék a pályán mozgó objektumoknak, illetve lehetőség nyílik a sebesség és az irány meghatározására is.

Ez a megközelítés követi a nemzetközi kutatások irányát, melyek szerint az RFID és LoRa kombinációja képes csökkenteni az infrastruktúra költségeit és javítani az üzemeltetés biztonságát. [1]

A kutatásaink során a Tagmaster által gyártott HDTrack UHF RFID olvasót alkalmaztuk, amely kifejezetten erre a célra gyártottak és hitelesítettek. Ez az eszköz azonosította a vasúti kocsikat és mozdonyokat. A beolvasott adatokat egy mikroszámítógép rögzítette a pálya mellett. A Lora adó a pálya menti mérő szekrényben kapott helyett, amely hőmérséklet és páratartalom adatokat továbbított a bázis állomás felé.

2.2 A kommunikációs architektúra

A redundáns kommunikációt a Lora vezeték nélküli technológia biztosítja a rendszerben, amely rendkívül nagy hatótávot és alacsony energiafogyasztást biztosít, így alacsony működtetési költségeket eredményez.

Egy empirikus modell szerint a LoRa hálózat *delivery ratio* paraméterei jól jellemzik a kapcsolat megbízhatóságát különböző eszközszintű beállításoknál. [2]

A rendszer minden eleme – szenzorok, váltóvezérlők, jelzők – önálló döntési jogkörrel rendelkeznek, amelyek LoRa hálózaton is képesek kommunikálni a többi alrendszerrel. A fő (optikai) kommunikációs csatorna kiesése, meghibásodása esetén a LoRa hálózat automatikusan átveszi az adatátvitelt.

3 Biztonsági szempontok

A vasúti környezetben a biztonság az egyik legfontosabb tényező. Az RFID és LoRa rendszerek 3 védelmi réteggel rendelkeznek:

- Titkosított RFID-címkék és olvasók – egyedi azonosító és CRC ellenőrzés,
- LoRa OTAA (Over-the-Air Activation) – dinamikus kulcscsere, AES-128 bit titkosítás,[3]
- Spreading Factor adaptáció (SF7–SF12) – interferencia elleni védelem és hibatűrés.

A LoRa ismert problémái, mint a packet loss és a zavarérzékenység megfelelően kezelhető, amit egy IEEE Access kutatása is alátámaszt, mely szerint ipari környezetben a LoRaWAN megbízhatósági mutatója 99% felett tartható megfelelő beállítások mellett. [4]

4 Mérési környezet

A terepi méréseket a Magyar Vasúttörténeti parkban (Budapest) történtek, ahol a LoRa és RFID rendszerek vasúti, fémes infrastruktúra melletti működését mértük.

A méréshez felhasznált eszközök:

- Microchip RN2483 LoRa modul (868 MHz),
- IoT Station GW868 gateway,
- HDTrack RFID olvasó, Címkek
- mikro számítógép + asztali számítógép

5 Eredmények és elemzés

A LoRa-kommunikáció átlagos csomagvesztési aránya (PDR) 95% felett volt. Az OTAA mód 6–10%-kal hosszabb késleltetést, de stabilabb és biztonságosabb kapcsolatot eredményezett, amit a laborkörülmények közötti mérés is alátámaszt.[3]

Az RFID azonosítás 3 méteren belül 100%-os megbízhatóságot mutatott, ami nem volt meglepő mivel ezt az eszközt erre találták ki és erre hitelesítették. Az RFID és LoRa együttes működése során csomagütközést nem mértünk, de a rendszerben nem történt teljes kommunikációs megszakadás.

Méréseink során mindkét rendszer stabilnak mondható, amely alátámasztja a doktori kutatásom egyik hipotézisét miszerint „az integrált biztonsági rendszerek alkalmazása lehetővé teszi a különböző irányítási alrendszerek komplex, egységes működését”.

A mérési eredmények nem meglepőek, mivel több külföldi tanulmány is ír azóta erről, mint például Railway Case Study by LoRa Alliance, ahol kombinálják a LoRaWAN-t RFID olvasókkal vagy az MDPI tanulmány ahol kifejezetten zord ipari környezetben vizsgálták a LoRa eszközök határait és még így is 90,23% ot mértek. A MÁV 2024 – ben kísérletezett a LoRa alkalmazhatóságával. [5]

A biztonsági elemzés megerősítette, hogy a kommunikációs rendszer megfeleltethető a SIL2–SIL3 szintű biztonsági követelményeknek, ami a mellékvonalak esetében megfelelő biztonsági szintet jelenthet a kommunikációs hálózat számára.

6 Következtetések és javaslatok

A mérési sorozat igazolta, hogy az RFID azonosítás és a LoRa alapú kommunikációs hálózat technikailag alkalmas a mellékvonali forgalomirányítás támogatására. A decentralizált architektúrába való beillesztése után csökkenti az esetleges központi számítógép terhelését, növeli a hibatűrést és jelentős költségmegtakarítást is eredményezhet a GSM-R alapú rendszerekhez képest, amely így alternatívája lehet az ETCS rendszereknek.

A LoRa technológia vasúti környezetben megbízható, stabil kommunikációt tesz lehetővé, az RFID pedig pontos és gyors gördülőállomány azonosítást végez. Ennek a két rendszernek a kombinálásával valós idejű forgalmi döntéshozatal és a helyi adatfeldolgozást lehet elérni.

7 A jövőbeli kutatási irányok

A jövőbeli kutatásom három lehetséges területre terjed ki. Ilyen a kiberbiztonság területe, a prediktív karbantartás AI algoritmusok alkalmazásával és edge computing integrációjának lehetősége.

7.1 Kiberbiztonság

A LoRa és RFID alapú rendszerek egyik legnagyobb problémája a kiberbiztonság. Az adatátvitel titkosított (AES-128) ugyan de a decentralizált felépítésből fakadóan a támadási felület nagyobb, mint egy hagyományos, központi GSM-R alapú rendszerben.

A kiberbiztonsági kutatások irányát a LoRa Alliance és az SNCF közös programja is kijelöli, amely 2023-ban megkezdte a LoRaWAN protokoll kiterjesztését a vasúti eszközzazonosításra [6]. Ennek a közös projektnek a legfontosabb célja a GS1 tanúsítvány megszerzése. A GS1-certification (GS1 tanúsítás) egy nemzetközi szabvány- és minősítési rendszer, amely az azonosítási és nyomonkövetési technológiák (például RFID, QR-kódok, vonalkódok) egységes, globálisan kompatibilis működését biztosítja.

A fejlesztések és a tanúsítás célja, hogy a LoRaWAN a jövő FRMCS (Future Railway Mobile Communication System) protokollba is integrálható legyen, illetve kombinálható legyen RFID azonosítással is. [7].

7.2 Prediktív karbantartás

A LoRa–RFID hálózat szenzoradataiból gépi tanulási modellek előre jelezhetik az esetleges váltóhibákat vagy kommunikációs torlódásokat.

7.3 Edge Computing integráció

A lokális döntéshozatal és adattárolás növeli a rendszer önállóságát és csökkenti a központi függőséget.

A osztott intelligenciájú, decentralizált architektúra így nem csupán kommunikációs szempontból (LoRA), de üzemeltetési és adatbiztonsági oldalról is versenyképes és biztonságos alternatívát jelent a jövőben. Ezekkel a fejlesztési irányokkal a vasúti forgalomirányítás a klasszikus, központosított modelltől egy önszervező, moduláris, hibatűrő hálózat irányába mozdulhat el, amely jobban illeszkedik a 21. századi *smart mobility* elvárásaihoz.

Összefoglalás

A kutatásom célja egy olyan RFID azonosításon alapuló, LoRa redundáns kommunikációt használó osztott intelligenciás architektúra leírása, amely az ETCS rendszerek mellett, akár ezekhez kapcsolódva alternatívát nyújtson, és ezáltal, lehetőség nyíljon egy költséghatékonyabb mellékvonali közlekedés modernizációra. A javasolt architektúra decentralizált működésű, azaz minden rendszerkomponens – érzékelők, jelzők, váltók, járműmodulok – önálló adatfeldolgozási és döntési képességgel rendelkeznek. Az adatkommunikációt elsődlegesen egy optikai hálózat látná el, míg a redundáns átvitelért (biztonság növelése céljából) alacsony energiafogyasztású és nagy hatótávolságú LoRa technológia lenne felelős. A járművek azonosítását RFID rendszer biztosítja, mely pontos és valós idejű helyzetmeghatározást tesz lehetővé.

A tanulmányom alapját egy 2020 nyarán történt mérés képezi. A mérési sorozat a Vasúttörténeti parkban történt és így megvizsgálhattuk ezeket az eszközöket „igazi” vasúti fémes környezetben. Vizsgáltuk a rendszerek kommunikációs biztonságát és az azonosítás pontosságát. Mindkét eszköz a már azóta, több publikációban is megjelenő rendkívül stabil működést mutatott [1]. A mérési eredmények igazolták, hogy Lora – RFID kombinálása megfeleltethető a vasúti biztonsági követelmények SIL2 és SIL3 – as szintjének és képes a hagyományos rendszerekhez hasonló üzembiztonságot nyújtani lényegesen alacsonyabb beruházási és működtetési költségek mellett.

A vizsgálat megerősíti a doktori kutatásom azon hipotézisét, miszerint az osztott intelligenciájú, integrált biztonsági rendszerek a vasúti közlekedésben képesek az autonóm, hibatűrő működés megvalósítására, valamint a forgalomirányítás, biztonságtechnika és járműfelügyelet komplex, egységes irányítására.

Források

- [1] Railway Case Study by LoRa Alliance® and GS1 in Europe Version 1.0 (GS1-LoRa-Alliance-Case-Study-Paper-1.pdf) – 2021. március 1., 10 oldal
- [2] Toro Betancur, Veronica; Premsankar, Gopika; Slabicki, Mariusz; Di Francesco, Mario: Modeling Communication Reliability in LoRa Networks with Device-level Accuracy, IEEE Conference on Computer Communications, 2021. május 10., 11 oldal
- [3] Papp Z. : Examining the applicability of Lora technology in an intelligent integral railway environment Óbudai Egyetem, 2020., 13. oldal
- [4] Davide Magrin, Martina Capuzzo, Andrea Zanella, Lorenzo Vangelista, Michele Zorzi: Performance Analysis of LoRaWAN in Industrial Scenarios, IEEE, 2021. szeptember 9., 10. oldal <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9294099>
- [5] Boubaker Abdallah, Sabrine Khriji, Rym Chéour, Charbel Lahoud, Klaus Moessner, Olfa Kanoun: Improving the Reliability of Long-Range Communication against Interference for Non-Line-of-Sight Conditions in Industrial Internet of Things Applications MDPI, 2024
- [6] James Blackman SNCF tests LoRaWAN to track rail assets as LoRa Alliance bids for GS1 certification 2021. március 3. URL: <https://www.rcrwireless.com/20210303/internet-of-things/sncf-tests-lorawan-to-track-rail-assets-as-lora-alliance-bids-for-gs1-certification>
- [7] LoRa Alliance – Transport of GS1 EPC Identifiers TR014 1.0.0, 2025. április, 11 oldal
- [8] Yin Wu, Nengfei Yang: Study of rail damage diagnosis and localization method based on intelligent wireless acoustic sensor network, 2023 URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224123005961?utm_source
- [9] Marcelli, E., & Pellegrini, P.: Literature Review Toward Decentralized Railway Traffic Management. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 2021, 13, 234-252.
- [10] Tokody Dániel, Schuster György, Papp József: Study of How to Implement an Intelligent Railway System in Hungary, In: Szakál, Anikó (szerk.) SISY 2015: IEEE 13th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics : Proceedings September 17-19, 2015, Subotica, Serbia, New York, Amerikai Egyesült Államok : Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (2015) 329 p. pp. 199-204. , 6 p.
- [11] URL: < <https://arxiv.org/abs/2411.02086> > Real-time and Downtime-tolerant Fault Diagnosis for Railway Turnout Machines (RTMs) Empowered with Cloud-Edge Pipeline Parallelism (2025.10.27)

- [12] URL: < <https://arxiv.org/abs/2108.02421> > Intelligent Railway Foreign Object Detection: A Semi-supervised Convolutional Autoencoder Based Method (2025.10.27)
- [13] URL: < <https://tst.duit.in.ua/index.php/tst/article/view/397> > "The security of IoT systems in railway transport | Transport systems and technologies" (2025.10.27)