

Vezeték nélküli, elosztott szabályozási struktúrájú jelzőlámpa koncepciója és prototípusfejlesztése

2019 nyarán egy új közlekedési díjat alapított a Nemzeti Útdíjfizetési Szolgáltató Zrt. (NÚSZ Zrt.) és a Közlekedéstudományi Egyesület (KTE) Közlekedési Innovációs Díj néven. A pályázat célja az alapítók meghatározása szerint az „innovatív jellegű kezdeményezések és tudományos elképzelések felkarolása”. A cikk az első Közlekedési Innovációs Díj nyertes pályamunkájának bemutatása, a szélesebb körű megismertetés és a kezdeményezés hasznosságának alátámasztása.

DOI 10.24228/KTSZ.2020.4.1

Dr. Tettamanti Tamás

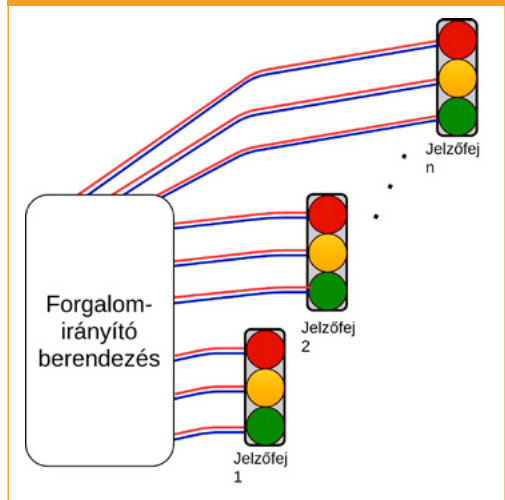
BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
e-mail: tettamanti@mail.bme.hu

1. BEVEZETŐ

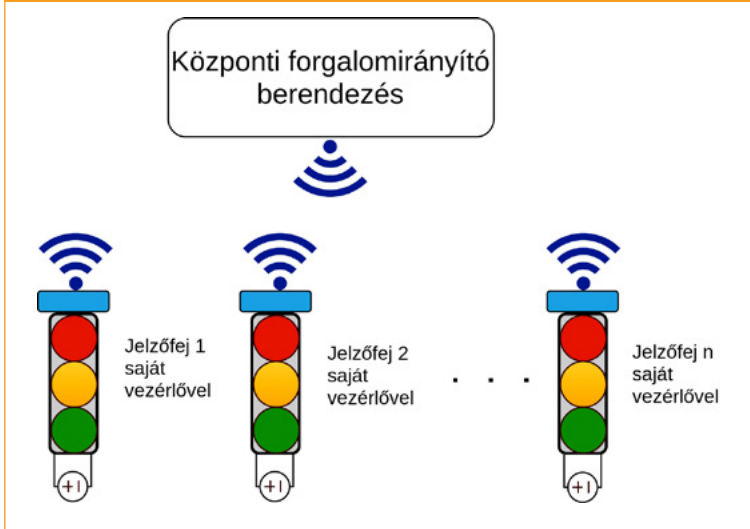
Általánosan ismert, hogy egy jelzőlámpás közúti kereszteződés hagyományosan egy központi gépből (forgalomirányító berendezés), jelzőfejekből, kommunikációs és tápkábelekből áll. Ez a klasszikus alapkoncepció a jelzőlámpás forgalomszabályozás megjelenése óta, azaz több mint 100 éve a gyakorlatban van (1. ábra).

A ma elérhető technológiák ugyanakkor egy ettől merőben eltérő koncepciót is lehetővé tesznek. Az irányítástechnika területén egyre világosabbá válik a különböző elosztott rendszerek térnyerése. Az elosztott irányítórendszerek alapja az egységek között kialakított gyors és megbízható kommunikációs csatorna. Ennek megfelelően elosztott működési módú forgalomirányítás alakítható ki, amelyben a központi vezérlőberendezés helyett a jelzőfe-

1. ábra: Hagyományos közúti forgalomirányítási koncepció (forgalomirányító berendezés és intelligencia nélküli jelzőfejek)



2. ábra: Vezeték nélküli forgalomirányítási koncepció, ahol a jelzőfejek ugyan némi saját intelligenciával rendelkeznek (és tápellátásuk közvetlenül akár a tartóoszlopról is megoldható), de az irányítási architektúra centralizált



jekbe telepíthető intelligencia végzi el a vezérlési feladatokat. Egy ilyen új technológia alkalmazásának természetesen alapfeltétele, hogy az érvényben lévő hazai és nemzetközi közúti forgalomirányítási szabványoknak megfelelően működjön, és legalább ugyanakkora biztonsággal tudjon üzemelni, mint a hagyományos rendszerek. Ennek megfelelően az elosztott jelzőfej koncepciójának kidolgozásához és a prototípusfejlesztéshez minden releváns jogszabály (törvény, rendelet) és műszaki specifikáció (szabvány, előírás) figyelembevételre került.

2. A VEZETÉK NÉLKÜLI ÉS ELOSZTOTT IRÁNYÍTÁSI ARCHITEKTÚRÁJÚ JELZŐLÁMPA-RENDSZER ALAPKONCEPCIÓJA

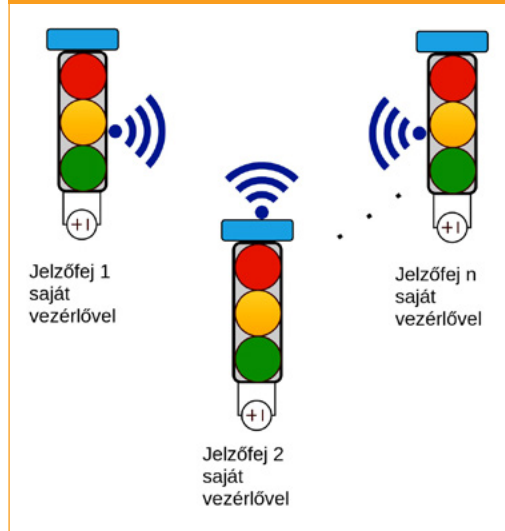
Az iparági gyakorlatban a közúti jelzőlámpák irányítása egy központi vezérlőegységen (közúti forgalomirányító berendezés) keresztül történik. Hasonlóképpen a vezeték nélküli jelzőlámpás irányítást ismertető szakkikkek is kizárólag központosított irányítási rendszert feltételeznek a működéshez [1], [2], [3]. Bár megközelítésükben némileg helyi intelligenciát is alkalmaznak a jelzőfejekben, a ve-

zérő logika szigorúan központosított módon működik (2. ábra).

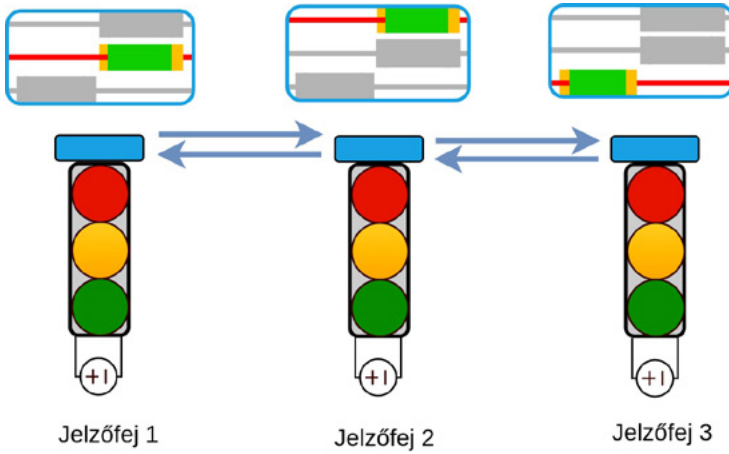
Noha ezek a szakkikkek megmutatták a vezeték nélküli jelzőlámpák alapötletét, a bemutatott koncepciók a központi vezérlés architektúráján nyugszanak. Emellett további limitációjuk, hogy a közúti forgalomirányítási szabványok szerinti megbízható és biztonságos mérnöki tervezés szempontjából korlátozottak. Ennek megfelelően egy olyan rendszer koncepcióját és működési algoritmusát írtam le, amely valóban elosztott irányítási módszert

alkalmaz és a műszaki követelményeknek is teljes mértékben megfelel (3. ábra).

3. ábra: Elosztott irányítási architektúrájú, vezeték nélküli forgalomirányítási koncepció (a jelzőfejek saját processzorral rendelkeznek és tápellátásuk közvetlenül akár a tartóoszlopról is megoldható)



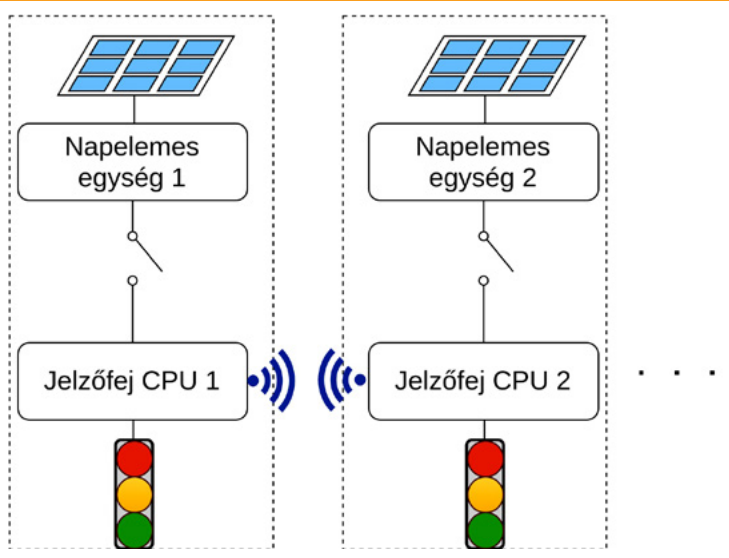
4. ábra: Egy reprezentatív példa az elosztott irányítású rendszerre: minden jelzőfej-vezérlő egység ismeri a teljes jelzőprogramot (és így párhuzamosan ellenőrzi a többi egységet), ugyanakkor csak a saját fázisait használja



Ebben a koncepcióban (amely hazai használati mintaoltalom alatt áll: [4]) a központi vezérlő-egységet eltávolítottuk, helyette a teljes vezérlési feladatot az egyes jelzőfejekhez tartozó processzorok végzik együttesen – elosztott logikával [5, 6]. Példaként a 4. ábra egy egyszerű T-cso-

a forgalomirányító berendezések az elektromos energiát az adott helyszínen elérhető közszolgáltató vállalat hálózatáról nyerik.). Új, energiahatékony megközelítésként azonban fotovoltaikus rendszer is használható: az elosztott jelzőfejek innovatív koncepciójában az energiafogyasztást nap-elemek is kiszolgálhatják. Ezt a megközelítést az 5. ábra szemlélteti.

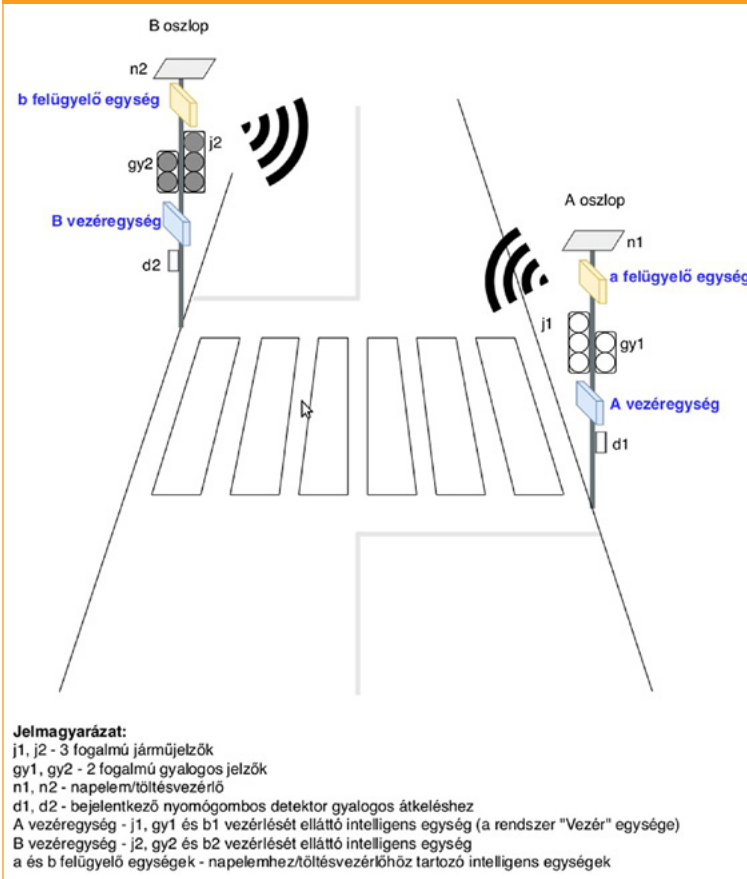
5. ábra: Elosztott irányítási architektúrájú, vezeték nélküli forgalomirányítási rendszer napelemes energiaellátással



3. AZ ELOSZOTT JELZŐ-LÁMPA EGY ELŐNYÖS KIVITELI ALAKJÁNAK BEMUTATÁSA: JELZŐLÁMPÁS GYALOGÁTKELŐ EGY-, ILL. KÉTSÁVOS ÚTON

Az elosztott logikával működő, vezeték nélküli, napelemes forgalomirányítási rendszer két kiépítésben alkalmazható gyalogátkelő biztosítására:

6. ábra: Gyalogátkelő szabályozása elosztott rendszerrel 1-sávós úton



oszlopon belül a vezérlőegység, a felügyelőegység, a jelzők, valamint a nyomógomb közötti kommunikáció kábeles összekötéssel biztosított. A két oszlop vezérlőegységei viszont egy közös, vezeték nélküli hálózaton keresztül kommunikálnak. A jelzőlámpa-rendszer döntési algoritmusait a kommunikációs csatorna típusa nem befolyásolja a logikai döntések meghozásában, pl. egy szavazó logika kiértékelésekor teljesen azonosan kerül elbírálásra a kábelben és a vezeték nélküli hálózaton érkező információ. A két vezérlőegység azonos hardverelemekből épül fel, és azonos képességekkel (szoftver) rendelkezik az elosztott koncepciónak megfelelően. Ugyanakkor az A jelű vezérlőegység némi többletfunkcióval bír. Ez az egység az ún. „Vezér”, amely a következő fő vezérfeladatokat látja el a rendszerben:

- I) 1-sávós főirány és egy gyalogátkelő irány szabályozása (6. ábra);
- II) 2-sávós főirány és egy gyalogátkelő irány szabályozása (7. ábra).

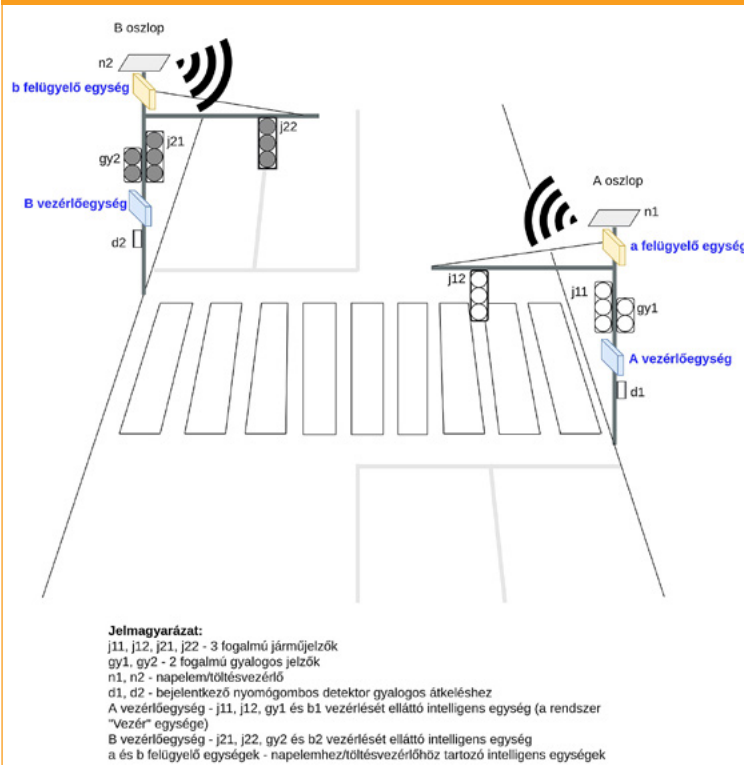
A 6. és 7. ábrákon látható rendszer felépítése alapvetően a két, energiaellátási szempontból független oszlopra (A és B) épül. Az oszlopok betáplálási forrása a tetején elhelyezett napelem (n1, n2). A rendszerben külön-külön vezérlőegységek (intelligens kártyák) tartoznak az A és B oszlop jelzőihez (gy1, gy2 gyalogosjelzők, ill. j11, j12, j21, j22 járműjelzők) és bejelentkező nyomógombjaihoz (d1, d2). A napelemekhez (n1, n2) is tartozik egy-egy intelligens kártya (a és b egységek), amelyek a felügyelő egységek szerepét is betöltik. Egy

- 1. a rendszer elindítása után szinkronizálja az egységeket;
- 2. a rendszer működése során is biztosítja a szinkronidőt: hozzá kell igazodni a B egységnek;
- 3. levezényli a jelzési programok közötti kapcsolást (be- és kikapcsoló, fix, forgalomfüggő, SV programok);
- 4. naplózza a teljes rendszer működését;
- 5. kommunikál a távfelügyeleti rendszerrel.

4. REDUNDANCIÁK A FEJLESZTETT RENDSZERBEN

A klasszikus forgalomirányító berendezések esetén redundanciával biztosítják a minden-

7. ábra: Gyalogátkelő szabályozása elosztott rendszerrel 2-sávú úton



ség úgy hibásodik meg, hogy teljesen „lefagy”, azaz egyedül nem lenne képes lekapcsolni magát (és sötétre a jelzőfejet), akkor vészleállási folyamatként a vezérlőegységnek kell áramtalanítani az egész oszlop elektromos táplálását. A vészleállásra vonatkozó utasítást a felügyelőegység vagy a többi, nem hibás egységtől kapja meg, vagy önmaga dönt róla (pl. megszűnik minden kommunikáció a többi egységgel). Az izzóellenőrzés is redundáns. A feszültség- és árammérés párhuzamosan kerül megvalósításra minden fénypontra.

A berendezés fő moduljait az alábbi rendszer-technikai terv (8. ábra) foglalja össze.

kor megfelelő jelzésvezérlést. Ezt általában két független CPU kártyával valósítják meg. Ehhez hasonlóan az elosztott rendszer esetében is a dupla processzoros megközelítés került alkalmazásra a vezérlőegységekben mint leg-erősebb redundancia:

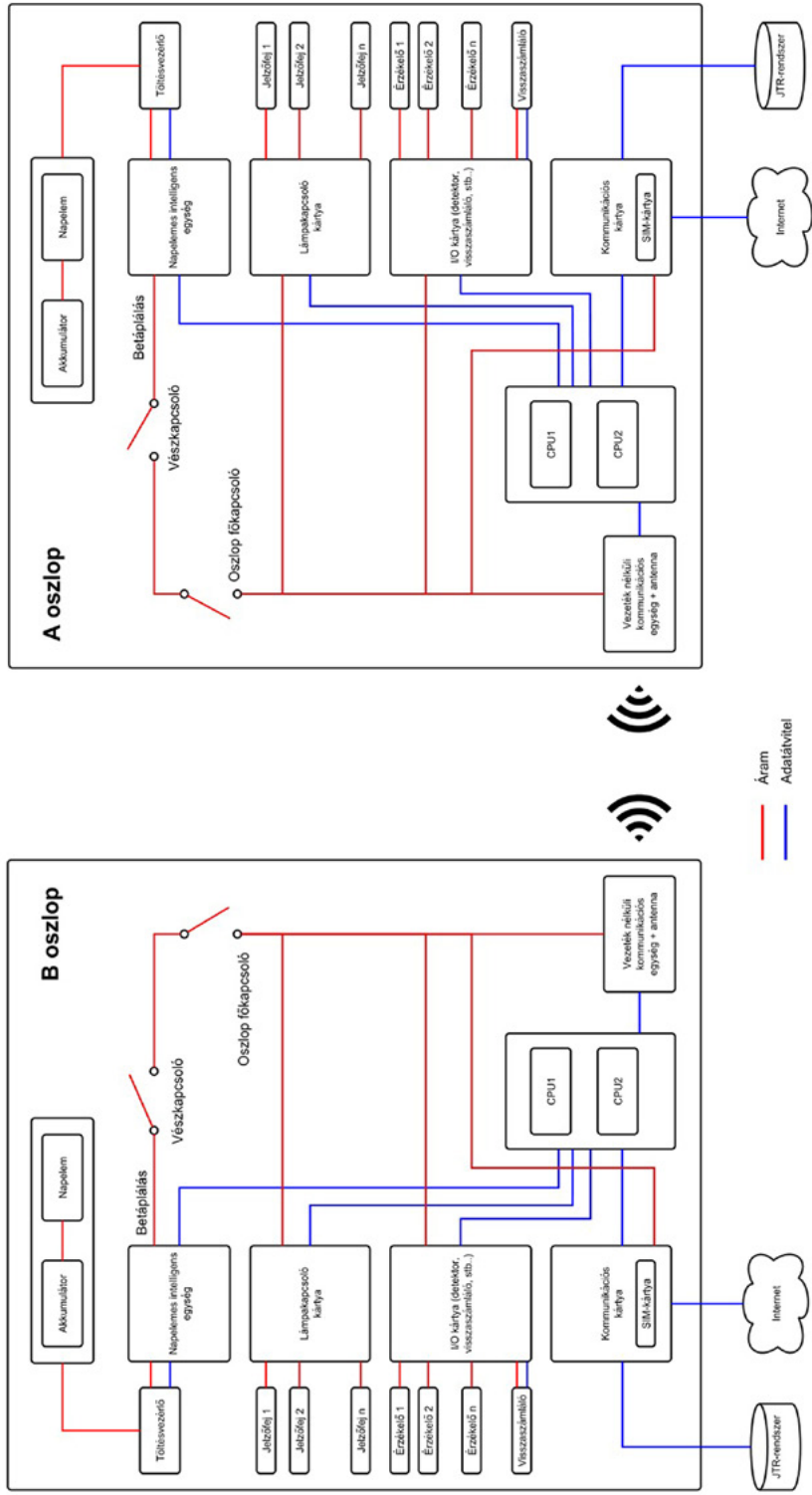
- Minden vezérlőegység kettős processzorral üzemel, így képesek egymás ellenőrzésére.
- A két CPU azonos processzorcsaládból kerül ki, de eltérő memóriákkal.
- A két CPU-n két különböző program fut.

A jelzőfejek vezérlőegységeinek áramkörétől független redundanciára is szükség van: ez ebben a rendszerben a napelemhez tartozó – a és b – felügyelő egységek áramkörével valósul meg. Ezen egységek fő célja a biztonságkritikus helyzetek kezelése. Egy jellegzetes példa erre a következő. Ha az A vagy B vezérlőegy-

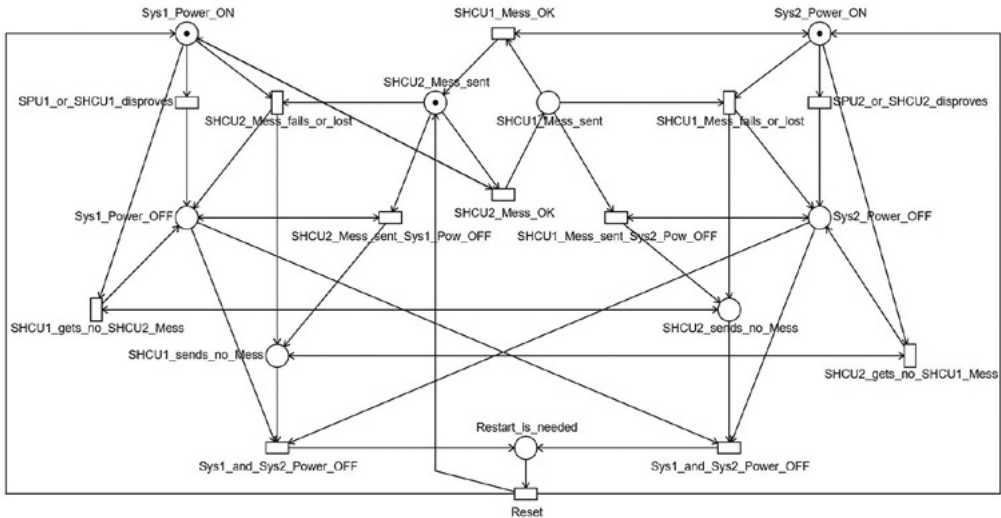
5. AZ ELOSZTOTT IRÁNYÍTÁSÚ JELZŐLÁMPA-RENDSZER „FAIL-SAFE” MŰKÖDÉSÉNEK VIZSGÁLATA PETRI-HÁLÓ ALKALMAZÁSÁVAL

A következőkben a rendszer „fail-safe” működésének igazolását mutatom be. A „fail-safe” működés jelentése, hogy a rendszer rendelkezik egy olyan biztonságos kimeneti állapottal, amelybe hiba esetén automatikusan belekerül, és ezt az állapotot magától nem (csak javítás, ill. újbóli indítás után) hagyhatja el. Az elosztott vezérlésű jelzőlámpa-rendszer gyakorlati alkalmazhatóságának igazolásaként a redundáns működést Petri-hálóval modelleztem, amely egy hatékony matematikai módszer diszkrét állapotú dinamikus rendszerek leírására [7]. A modellezéshez a PetriDotNet programot – egy Petri-háló szerkesztő és elemző eszközt – alkalmaztam [8]. A 9. ábra

8. ábra: Az elosztott jelzőlámpa-rendszer rendszertechnikai terve



9. ábra: Az elosztott jelzőlámpa vezérlés redundáns megvalósításának Petri-háló modellje két darab vezérlőegységre bemutatva (a modell PetriDotNet szotverben készült [8])



Rövidítések az 9. ábrán:

- SPU1 / SPU2: napelemes (felügyelő) egység 1 / 2
- SHCU1 / SHCU2: vezérlőegység 1 / 2
- Sys1_Power_ON / Sys2_Power_ON: az 1. alrendszer (SHCU1 és SPU1) / a 2. alrendszer (SHCU2 és SPU2) be van kapcsolva
- Sys1_Power_OFF / Sys2_Power_OFF: az 1. alrendszer (SHCU1 és SPU1) / a 2. alrendszer (SHCU2 és SPU2) ki van kapcsolva
- SHCU1_Mess_sent / SHCU2_Mess_sent: SHCU1 / SHCU2 vezérlők üzenete el van küldve
- SHCU1_Mess_OK / SHCU2_Mess_OK: az SHCU1 / SHCU2 vezérlőtől származó üzenet tartalmának megfelelőségét igazolta SHCU2 / SHCU1 egység
- SHCU1_Mess_fails_or_lost / SHCU2_Mess_fails_or_lost: az SHCU1 / SHCU2 vezérlőtől származó üzenet tartalma nem megfelelő vagy az üzenet nem érkezett meg
- SPU1_or_SHCU1_disproves / SPU2_or_SHCU2_disproves: SPU1 vagy SHCU1 / SPU2 vagy SHCU2 nem igazolja SHCU1 / SHCU2 egység hibamentes működését
- SHCU1_Mess_sent_but_Sys2_Pow_OFF: SHCU1 üzenete kiment, de 1. alrendszer (SHCU1 és SPU1) ki van kapcsolva
- SHCU2_Mess_sent_but_Sys1_Pow_OFF: SHCU2 üzenete kiment, de 2. alrendszer (SHCU2 és SPU2) ki van kapcsolva
- SHCU1_sends_no_Mess / SHCU2_sends_no_Mess: SHCU1 / SHCU2 nem képes üzenetet küldeni SHCU2 / SHCU1 egységnek
- SHCU1_gets_no_SHCU2_Mess / SHCU2_gets_no_SHCU1_Mess: SHCU2 / SHCU1 nem képes üzenetet fogadni SHCU1 / SHCU2 egységtől
- Sys1_and_Sys2_Power_OFF: mindkét alrendszer (SHCU1 és SPU1, valamint SHCU2 és SPU2) ki van kapcsolva
- Reset: újraindítási művelet (alapállapotba kapcsolással) szükséges a két alrendszer bekapcsolásához (SHCU1 és SPU1, valamint SHCU2 és SPU2)

az elosztott vezérlés redundáns működésének Petri Net modelljét mutatja be. A modell az áttekinthetőség kedvéért csak két vezérlőegységre vonatkoztatva kerül bemutatásra. Ugyanakkor ezt a modellezési megközelítést ki lehet terjeszteni további vezérlőegységekre az egységek azonos biztonsági protokollja miatt. Azaz bármelyik egység (alrendszer) az egész rendszert biztonságos „fail-safe” kimeneti állapotba viheti.

A Petri-hálóval modellezett rendszerben (9. ábra) periodikus belső működést feltételezünk, azaz:

- SPU1 / SPU2 periodikusan ellenőrzi SHCU1 / SHCU2 egység hibamentes működését (a rövidítések a 9. ábra alatt vannak definiálva)
- SHCU1 / SHCU2 periodikusan küld üzeneteket SHCU2 / SHCU1 irányába,
- SHCU1 / SHCU2 periodikusan fogadja és ellenőrzi az üzeneteket SHCU2 / SHCU1 irányából.

A Petri-háló ún. T-invariánsai [7] alapján igazolható, hogy a teljes rendszer „fail-safe” állapotba jut, amennyiben kritikus probléma történik

bármelyik alrendszerben, azaz bármelyik vezérlőegység meghibásodik vagy a kommunikáció elveszik az alrendszerek között. A kiszámított T-invariáns érték megmutatta, hogy a Petri-háló bármelyik tüzelési sorozata (tüzelés alatt gyakorlatilag az állapotátmenetet értjük két diszkrét állapot között) során előállított bármelyik hiba mindig a "Power OFF" (kikapcsolt) állapotba viszi mindkét alrendszert, azaz SPU1, SPU2, SHCU1, ill. SHCU2 egységek mind kikapcsolódnak.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az innováció egyrészt megvalósult koncepcionális szinten. Részletes műszaki specifikáció és követelményrendszer került felállításra annak érdekében, hogy a kialakítandó rendszer minden érvényben lévő műszaki előírásnak/szabványnak megfelelően, és ezáltal a hagyományos forgalomirányító berendezések által biztosított biztonságos működést garantálja. Másrészt a fejlesztés – az MS Kft.-nek köszönhetően – konkrét prototípus megvalósulásáig is eljutott (10. ábra). A prototípuson történt eddigi tesztelesek eredményei igazolják a megbízható, üzembiztos működést.

Legjobb ismereteim szerint a kifejlesztett vezeték nélküli közúti jelzőlámpa-rendszer egyedülálló: se Magyarországon, se máshol Európában nem forgalmaznak a jelzőlámpás cégek ilyen megoldást. A megoldás újszerűsége a vezeték nélküli technológia alkalmazásából indul ki, amely lehetővé teszi, hogy alépítmény és kábelezés nélkül, rendkívül gyorsan és költségtakarékosan telepítsünk jelzőlámpás rendszert. Emellett a berendezés energiaellátása is korszerű, hiszen a hagyományos jelzőlámpákkal ellentétben napelemes működési mód is választható. Fontos még megjegyezni, hogy a kifejlesztett rendszer minden – releváns – uniós és hazai szabványnak megfelel. Az ipari gyakorlati használhatósága mellett kiemelendő a fejlesztés tudományos hatása is, hiszen a rendszer működtetéséhez ún. elosztott szabályozási irányítás algoritmust kellett megvalósítani. A rendszerre használatiminta-oltalom is bejegyzésre került, a szabadalom jelenleg bírálati fázisban van.

10. ábra: Az elosztott jelzőlámpa-rendszer prototípusa; a vezérlőegységek az oszlopokba kerültek elhelyezésre (a megvalósítást az MS Kft. támogatta)



KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben bemutatott rendszer prototípus szintű megvalósulását az MS Kft. támogatta.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Vincent, D.: Wireless Traffic Signal Control - How Boulder saves a bundle by replacing T1 lines with private wireless technology, IMSA Journal (International Municipal Signal Association, USA), Vol. January-February, pp. 57-58, 2008. <http://www.imsasafety.org/journal/jf08/21.pdf>
- [2] Thatsanavipas, K., Ponganunchoke, N., Mitatha, S., Vongchumyen, C.: Wireless Traffic Light Controller, Procedia Engineering, 8, pp. 190-194, 2011. DOI: <http://doi.org/dkf274>
- [3] Bo, L., Fusheng, Z.: Traffic Signal Control System Based on Wireless Technology, 2013 Third International Conference on Intelligent System Design and Engineering

- Applications, Hong Kong, China, pp. 1578-1580, 2013. <https://doi.org/10.1109/ISDEA.2012.379>
- [4] Hujber R., Tettamanti T., Varga I.: Intelligens közúti forgalomirányító rendszer, elosztott elrendezésű szabályozó logikával, Használati mintaoltalom, Lajtszomszám: 5034, Bejelentés ügyszám: U1800160/10, Elfogadás dátuma: 2019.05.31.
- [5] Tamaskovics G., Tettamanti T., Varga I.: Az intelligens jelzőfej koncepciója: vezeték nélküli, elosztott rendszerű jelzőlámpás forgalomirányítás, Közlekedéstudományi Szemle, LXVI. évfolyam, 6. szám, pp. 45-54., 2016.
- [6] Tettamanti, T.: Wireless Traffic Signal Controller with Distributed Control System Architecture. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 63(3), pp. 918-925, 2019. DOI: <http://doi.org/d2ms>
- [7] Peterson, L.: Petri net theory and the modeling of systems, Prentice Hall, USA, 1981.
- [8] Vörös, A., Darvas, D., Hajdu, Á., Klenik, A., Marussy, A., Molnár, V., Bartha, T., Majzik, I.: Industrial applications of the PetriDotNet modelling and analysis tool, Science of Computer Programming, 157, pp. 17-40, 2018. DOI: <http://doi.org/gdfqhh>



Concept and prototype development of a wireless traffic light system with a distributed control structure

The innovative nature of the developed traffic light system stems from the novelty that it enables wireless technical implementation in a so-called distributed regulatory structure in contrast to the concept of conventional central traffic control equipment (which has remained virtually unchanged since its inception in the early 20th century). On the one hand, the innovation has been implemented on a conceptual level: a detailed technical specification and system of requirements have been set up in order to ensure that the system to be developed complies with all applicable technical regulations / standards and thus guarantees the safe operation provided by conventional traffic control equipment. On the other hand, the development has reached the realization of a specific prototype, which – based on the tests performed so far – proves that it can operate reliably.



Konzept und Prototypenentwicklung einer drahtlosen Verkehrsampel mit verteilter Steuerungsstruktur

Der innovative Charakter des entwickelten Ampelsystems beruht auf der Neuheit, dass es im Gegensatz zum Konzept herkömmlicher zentraler Verkehrssteuerungsgeräte (die seit ihrer Einführung am Anfang des 20. Jahrhunderts praktisch unverändert geblieben sind) eine drahtlose technische Realisierung in einer sogenannten verteilten Steuerungsstruktur ermöglicht. Zum einen wurde die Innovation auf konzeptioneller Ebene umgesetzt: es wurde eine detaillierte technische Spezifikation und ein Anforderungssystem erstellt, um sicherzustellen, dass das zu entwickelnde System allen geltenden technischen Vorschriften / Normen entspricht und somit den sicheren Betrieb herkömmlicher Verkehrssteuerungsgeräte gewährleistet. Andererseits hat die Entwicklung die Realisierung eines spezifischen Prototyps erreicht, der auf Grund der bisher durchgeführten Tests einen Beweis für den zuverlässigen und zuverlässigen Betrieb liefert.