

Jármű-infrastruktúra hálózatok alkalmazása járműfelügyeleti és -irányító rendszerekben

Tézisfüzet

Aradi Szilárd



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

Témavezető:

Dr. Gáspár Péter

Magyar Tudományos Akadémia
Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet
Rendszer és Irányításelméleti Kutatólaboratórium

2015

Original English language title

**Application of Vehicle-to-Infrastructure
Networks in Vehicle Control and
Monitoring Systems**

Thesis by:
Szilárd Aradi

1. Bevezetés

Napjainkban a közlekedési igények állandó növekedésének vagyunk szemtanúi, melynek egyenes következménye a szállítási kapacitásigény, és energiaigény, valamint a környezetterhelés növekedése. A közlekedési rendszerek hatékonyságának növeléséhez különböző telematikai megoldások alkalmazása szükséges, illetve az azon keresztül elérhető optimalizációs lehetőségek kiaknázása. Ebben nyújt segítséget a mikroelektronika és a telekommunikáció rohamos fejlődése, mely egyik részről teljesítményében, másik részről már költségeiben és elérhetőségében is lehetővé teszi a telemetriai alkalmazások elterjedését a különböző közlekedési ágak között.

Kutatásaim során közúti és vasúti informatikai rendszerekkel foglalkoztam, a disszertációmban bemutatott módszerek a vasúti távfelügyeleti rendszerek rendszerekben rejlő problémákra adható lehetséges megoldásokat, illetve továbbfejlesztési lehetőségeket tárgyalja. A bemutatott kutatás íve a vasúti távfelügyeleti rendszerek architektúrális és belső irányítási kérdéseivel indul és megoldásokat mutat be egy-egy részterület kritikus kérdéseire, különös tekintettel a járműközpont kommunikációra. Ezt követően a távfelügyeleti rendszerek által szolgáltatott óriási mennyiségű adat automatizált feldolgozási lehetőségeit, és a belőlük kinyerhető információk felhasználási lehetőségeit vizsgálja a járműirányítás szempontjait figyelembe véve.

A dolgozat első része a közúton már bevált távfelügyeleti rendszerek vasúti alkalmazásának lehetőségével foglalkozik, megvizsgálva azokat az előnyöket, amelyeket egy ilyen rendszer bevezetése jelenthet. A magyar vasút példáján keresztül bemutatom a távfelügyeleti rendszer elhelyezkedését a vasúti informatikai rendszeren belül. A járművekkel való kommunikáció több, különböző minőségi elvárásnak kell, hogy megfeleljen. Ilyen a rendelkezésre állás, a válaszütem, az esetleges leállás utáni biztonságos helyreállítás stb., melyek szigorú feltételeket szabnak a rendszer szerveralkalmazása számára. Így annak gondos tervezése mellett, - melyre egy lehetséges struktúrát bemutatok, - a kiszolgálás szabályozása is szükséges, amire megfelelő eszközöket nyújt a szabályozáselmélet [1],[2], a megfelelő sorbanállási modell megléte esetén [3]. Informatikai rendszerek esetében a legtöbb változó direkt módon mérhető, de a rendszer terhelése sok esetben becslést igényel [4]. Erre a problémára a rendszer M/G/1 típusú sorbanállási modellként történő modellezésén keresztül állapot-visszacsatolást alkalmazó "switching mode" szabályozáson alapuló megoldást dolgoztam ki.

A hálózati eléréssel rendelkező mozdonyfedélzeti berendezések nem csak a mozdony adatgyűjtési és a mozdonyvezető-központ közötti kommunikációs feladatokat láthatják el, hanem átjáróként szolgálhatnak a teljes szerelvény telemetriai alhálózata számára, így támogatva - a teljesség igénye nélkül - a karbantartási, vagy éppen utastájékoztatási [5]

feladatokat. A szerelvények összeállítása azonban nem állandó, és - az újabb típusú vasúti kocsikat leszámítva - nem rendelkeznek általánosan felhasználható épárral a távvezérlési csatláson. Az ún. "intra-train" hálózattal nem rendelkező vasúti szerelvények - speciális körülmények közötti [6] - vezetékes hálózatának megvalósítási kérdéseivel foglalkozik a dolgozat második része. A digitális adatátvitel nem szabványos médiumon történő megvalósítása azonban fontos megoldandó problémákat jelent a hálózat minőségi jellemzőinek elfogadható szinten tartásához. Ennek érdekében a nem szabványos megoldásokat először laboratóriumi körülmények között teszteltem. A moduláris topológia felderítésére egy megfelelő szakaszolási megoldást fejlesztettem ki, amelyhez vezérlő algoritmust terveztem. Így elérhető, hogy a távvezérlési csatlásokon keresztül a szerelvényen kommunikáció történjen. A kifejlesztett módszereket valós körülmények között megépített demonstrációs alkalmazás segítségével validáltam.

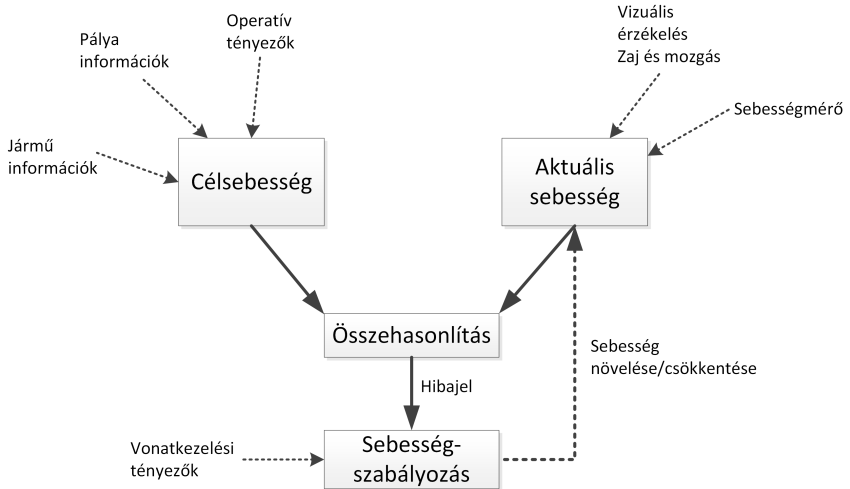
Az online és egyben valós idejű információk megléte hatalmas lehetőségeket nyit meg a vasúti közlekedés hatékonyságának növelésében. A vasúthálózat működésének optimalizálása csökkentheti az egyedi késések okozta láncreakciószerű késés-továbbterjedést, illetve segíti a hálózat helyreállítását. Emellett segítséget nyújthat ez vonatok optimális leközlekedtetésében [7],[8],[9].

A kutatásom, a fentieknek megfelelően a vonatközlekedés két megállás közötti energiafogyasztás szempontjából optimális lefolytatásának vizsgálatára fókuszált. Ennek megvalósításához elengedhetetlen, a telemetriai rendszer által szolgáltatott valós idejű adat, így meghatározható a rendelkezésre álló menetidő, de szükséges ismerni az adott szakasz korlátozásait, illetve lejtviszonyait is. A feladat alapvetően két egymásnak ellentmondó feltételt állít, a menetidő betartását, és az energiafelhasználás minimalizálását. Az általam kidolgozott megoldás prediktív optimalizációt alkalmaz, amely viszont további megoldandó problémát indukált.

Az első feladat a szerelvényre ható hosszirányú ellenálláserők meghatározása volt. Ehhez a szakirodalomban is fellelhető polinomfüggvény alakú ellenállási modellt választottam [10],[11],[12]. A modell paramétereinek meghatározásához valós, másodperces mintavételezésű fedélzeti adatokat használtam, és megmutattam, hogy ezek felhasználásával külön mérés végrehajtása nélkül lehetséges az ellenállás modellalapú meghatározása.

A prediktív optimalizálás [13] időtartó tulajdonságához elengedhetetlen egy referenciafutás megléte, amely az előírt menetrendi időt tartja, és így a horizonton az optimumkereső algoritmus azt korlátozó feltételként követni tudja. Ehhez fel lehet használni korábbi ismert vonatközlekedést, illetve generálható is előzetes optimumként, valamilyen algoritmus segítségével [14] [15]. Két - a teljes szakaszt és menetidőt figyelembe vevő - optimális sebességgörbét generáló algoritmust dolgoztam ki. Az első egy egyszerűbb,

így alacsonyabb számítási teljesítményt igénylő módszer, amely nem veszi figyelembe a pálya lejtviszonyait, míg a másik ez utóbbival is kalkulál, így lényegesen komplexebb és számításigényesebb.



1. ábra. A sebesség megválasztásának (szabályozásának) folyamata

A végső cél egy vezetéstámogató rendszer fejlesztése, amely menet közben képes javaslatot tenni a mozdonyvezetőnek a sebesség megválasztására vonatkozóan, így segítve az energiahatékony vezetést (lásd 1. ábra). Erre jó kiindulás lehet a statikus sebességprofil előzetes megadása, amelyet a mozdonyvezetőnek követnie kell, azonban akarva-akaratlanul ettől eltérhet, és így sérül az eredeti cél. A futás közben tehát célszerű lehet a folyamatos újratervezés, amelyet az általam javasolt prediktív szabályozási séma valósít meg.

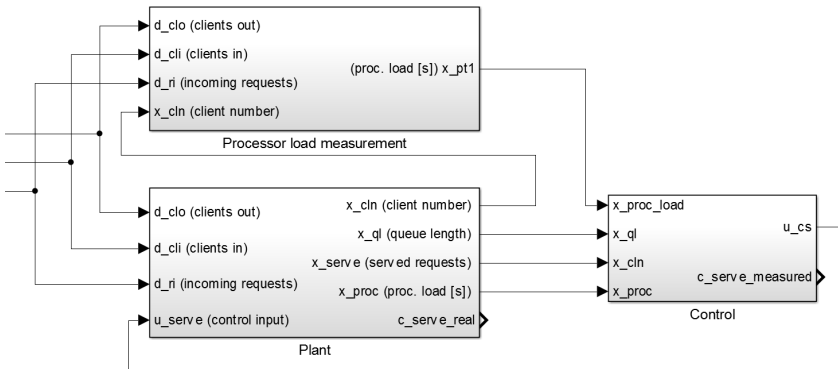
2. Új tudományos eredmények

1. tézis

A kötőtpályás közlekedés igényeinek megfelelő jármű felügyeleti rendszer sorbanállási modellként reprezentálható kommunikációs alrendszerére szabályozást dolgoztam ki, a rendszer terhelésének és kiszolgálási idejének figyelembe vételével. A módszer az alkalmazás lineáris, megszorításokat tartalmazó rendszermodelljét, a terhelés becslését és állapotvisszacsatolást alkalmazó, a terheléstől függően változó szabályozási struktúrák segítségével irányítja.

Tézishez kapcsolódó publikációk: [Ara07],[AB08],[BA08],[BA10],[BA09]

- A vasúti vállalatirányítási rendszerek informatikai és kommunikációs architektúrájának vizsgálata során meghatároztam a járművek adatkapcsolatáért felelős interfész alrendszer helyét.
- Egy olyan kommunikációs modell struktúrát terveztem, amely alkalmas kötőtpályás jármű-felügyeleti rendszerek összetett adatkommunikációs igényeinek kiszolgálására, különös tekintettel a megbízhatóság illetve a modularitás szempontjaira.
- A korlátozott feldolgozási erőforrások figyelembe vétele mellett rámutattam a kiszolgáló alkalmazás teljesítményszabályozásának szükségességére.



2. ábra. A szabályozási architektúra sémája

- Felírtam a kiszolgálási folyamat lineáris állapotter-modelljét, amelyben a kiszolgáló a véletlenszerű követési időkkel beérkező igényeket sztochasz-

tikus kiszolgálási idő mellett teljesíti, így M/G/1 típusú sorbanállási modellként viselkedik.

- A felírt modellre két szabályozási struktúrát (2. ábra) terveztem: egyet a kiszolgálási ciklusidő tartására túlterhelés esetén, illetve egy normál üzemi szabályozót, amely a nem túlterhelt kiszolgáló működtetéséért felelős. A kiszolgálási idő modell alapú becslése, annak mérésén és szűrésén alapul. A két szabályozó közötti váltásokat hiszterézist alkalmazó kapcsoló vezérli.

2. tézis

Javaslatot tettem egy olyan, a kötöttpályás járműkövető rendszerekkel ellátott vasúti járműveken alkalmazható vonaton belüli hálózat kialakítására, amely figyelembe veszi a környezeti zavarásokat, valamint a változó hálózati topológiát, így megbízható kommunikációs csatornát biztosít a fedélzeti berendezések között.

Tézishez kapcsolódó publikációk: [ABG13a],[ABG15b]

- A nagy távolságú, vezetékes összeköttetésre alkalmas digitális kommunikációs technológiák összehasonlító elemzésének eredményeként meghatároztam a vizsgált környezetben legalkalmasabbnak tartott szabványos adatátviteli technológiát.
- Meghatároztam a kiválasztott kommunikációs CAN (Controller Area Network) technológia esetében, hogy a nem szabványos adatátviteli közeg és hálózati lezárási megoldások milyen hatással vannak a digitális adatátvitel performanciájára. Ehhez első lépésben laboratóriumi méréseket dolgoztam ki, amelyek alátámasztották, hogy módosult környezetben mérsékelt sebesség mellett, de megbízhatóan alkalmazható a technológia.
- A fenti méréseket álló és mozgó vasúti szerelvényen is elvégezve bebizonyítottam, hogy a javasolt megoldás alapján készített prototípus rendszer vasúti közlekedés zajjal terhelt körülményei mellett is megbízhatóan alkalmazható.
- A vasúti szerelvények összeállításának pontos és automatikus meghatározásához, illetve a hálózati lezárások megfelelő kezeléséhez algoritmust dolgoztam ki változó topológiájú CAN hálózat esetére. Továbbá javaslatot tettem a CAN hálózat paramétereire, amellyel biztosítható egy vasúti személykocsiból álló szerelvény esetén a megbízható kommunikáció a fedélzeti berendezések, és a kocsikon elhelyezett elektronikus eszközök között.

3. tézis

Paraméter-meghatározási algoritmust dolgoztam ki a vasúti szerelvények hosszirányú alapellenállás függvényéhez, amely a járműkövető rendszerek tényleges vonatközlekedés mellett rögzített energiafogyasztási-, sebesség- és pozícióadatait valamint pályainformációkat használ fel. A módszer az energiafelhasználás modellalapú megközelítésével, nemlineáris optimumkeresési feladatra vezeti vissza a paraméterek becslését.

Tézishez kapcsolódó publikációk: [ABG15a]

- Megvizsgáltam az irodalomban található, alapellenállás meghatározására szolgáló mérési eljárásokat, illetve az alapellenállás egyszerűsített modellezési módszereit.
- Felírtam a vizsgált alapellenállás függvényt, amely egyszerűsített modellként a vontatójármű paramétereit, illetve a vasúti kocsik számát és terhelését veszi figyelembe:

$$F_{res}^{loc}(v) = m_{loc} * (\alpha_l + \beta_l v) + \gamma_l v^2 \quad (1)$$

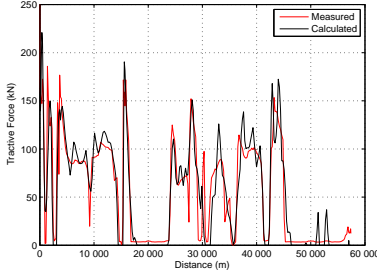
$$F_{res}^{stock}(v) = m_{stock} * (\alpha_s + \beta_s v) + n_{stock} * \gamma_s v^2 \quad (2)$$

ahol v a vonat sebessége, $\alpha_l, \beta_l, \gamma_l, \alpha_s, \beta_s, \gamma_s$ a meghatározandó paraméterek, m_{loc}, m_{stock} rendre a mozdony és a kocsik tömege és n_{stock} a kocsik darabszáma.

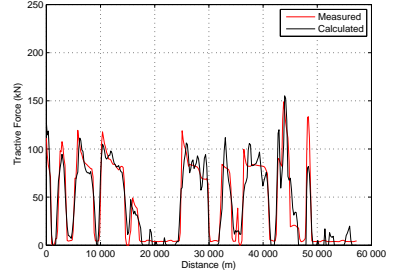
- A alapellenállási függvényt felhasználva felírtam a vonat energiafogyasztási modelljét.
- A modell és a mérések energiafelhasználási eltéréseiből képezett különbségfüggvény minimalizálása lehetőséget nyújt a paraméterek meghatározására, így a következő optimumkeresési feladatot írtam fel:

$$\begin{aligned} \min_x \quad & f(x) \\ \text{ahol} \quad & x = [\alpha_l, \beta_l, \gamma_l, \alpha_s, \beta_s, \gamma_s, \xi_j, \psi_j]; j = 1, \dots, k \\ \text{figyelembe véve} \quad & 0.9 \leq \xi_j \leq 1.1 \\ & 0.0 \leq \psi_j \leq 1.0 \\ & x_i \geq 0.0; i = 1, \dots, 6 \end{aligned} \quad (3)$$

- A kifejlesztett módszert valós méréseken teszteltem (3. ábra), a MÁV 431 sorozatú villamos vontatójárművének tehervonati közlekedéséből gyűjtött adatokon keresztül.



(a) Vonat 1



(b) Vonat 2

3. ábra. A mért és az új módszerrel számított vonóerők két különböző vonat esetén

4. tézis

Módszert dolgoztam ki a vasúti szerelvények energia-optimális sebességprofiljának meghatározáshoz. A javasolt algoritmus alkalmas két állomás között meghatározni a vonat energiahatékony, és a menetidőt betartó sebesség-út diagramját, figyelembe véve a jármű paramétereit, az egyes pályaszakaszokra engedélyezett sebességeket, valamint a pálya lejtviszonyait.

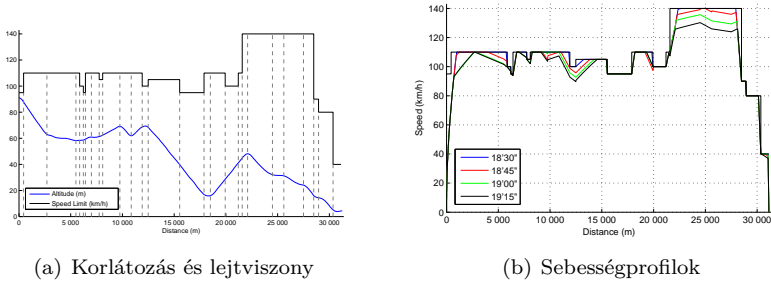
Tézishez kapcsolódó publikációk: [ABG13b],[ABG14]

- Bemutattam a vasúti pálya lejtviszonyainak hatását a vonatközlekedés energia-felhasználására, és különböző speciális esetekre meghatároztam az egyes korlátozásokat és lejtviszonyokat figyelembe vevő vezetési stratégiák időigényének és energiaigényének explicit matematikai leírását.
- Így a két állomás közötti út - konstans korlátozás és közelítőleg állandó lejtviszonyoknak megfelelő - szakaszokra bontásával az egyes szakaszokra meghatározható a sebességprofil az előírt menetidő függvényében.
- Az optimális sebességprofil az egyedileg felvett szakaszokra előírt futási idő vektor eredményeként állítottam elő. A megfelelő vektor megtalálásához a modell eredményeként szolgáló összesített futásidő, illetve energiafelhasználás súlyozott összege szolgáltat célfüggvényt:

$$J(t_i) = W_e \frac{E(t_i)}{E^{max}(t_i)} + W_t \frac{|T^{calc}(t_i) - \mathcal{T}|}{\mathcal{T}} \quad (4)$$

- Egy valódi vasúti pályaszakasz lejtviszonyait és sebességhatárolásait

felhasználva mutattam be az algoritmus működőképességét és hatékonyságát (lásd 4. ábra) .



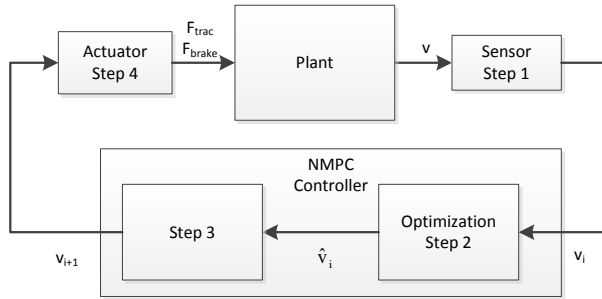
4. ábra. Egy valós vasúti pályaszakasz lejtviszonyai, sebességhatárolásai és a számított sebességprofilok, különböző menetidőkre számítva

5. tézis

Kifejlesztettem egy vezetéstámogató algoritmust, amely előzetesen tervezett, vagy létező referenciafutás alapján képes a járművezető számára információt szolgáltatni az adott szakaszon alkalmazandó optimális sebességről, a minimális energiafelhasználás, a menetidő és a sebességhatárolások figyelembevétele mellett. A módszer a referenciafutás és a jármű aktuális állapota ismeretében meghatározza az aktuális vonóerő igényt.

Tézishez kapcsolódó publikációk: [ABG13b],[BAT⁺13],[ABG14]

- A modell prediktív megközelítést használ, mely a részt vevő szakasz út szerinti felosztásán alapul. Minden egyes lépéshez egy célsebességet határoz meg, mely figyelembe veszi a vonatkozó korlátozásokat, illetve megszorításokat.
- A vezetéstámogató algoritmus az 5. ábrán látható blokkdiagram szerinti felépítésű, melynek komponensei az állapot mérése, a predikció horizontjára vetített optimumkeresés és az aktuálás.
- A predikció a menetidő betartását a horizonton lévő sebesség betartásával, illetve az ugyanott számított késés minimalizálásával garantálja.



5. ábra. A szabályozási kör

3. Az eredmények hasznosíthatósága

A jármű-infrastruktúra hálózatok és a jármű távfelügyeleti rendszerek egyre nagyobb teret hódítanak napjainkban. A már meglévő rendszerek funkciói is folyamatosan bővülnek, így egyre nagyobb adatmennyiségeket kell kezelniük. Vasúti területen is megfigyelhető a távfelügyeleti rendszerek térhódítása és a nagy adatmennyiségek kezelése egyre nagyobb kihívásokat jelent. Másik jelentős fejlődési irány az önállóan közlekedő járművek témaköre, amely a kötöttpályás közlekedés egyes területein már a mindennapokban is használt technológia. Fontos lehet azonban ezeket a rendszereket az energiahatékonyság szempontjaival is kiegészíteni, és akár hálózati szintre is kiterjeszteni az optimalizációt.

Az 1. tézis eredményei a vasúti távfelügyeleti rendszerek tervezésénél, valamint az adatfogadó szerveralkalmazás fejlesztésénél használhatók fel.

A 2. tézis eredményei alapján a távfelügyeleti rendszerek funkciói tovább bővíthetők azáltal, hogy a fedélzeti hálózattal nem rendelkező vasúti szerelvényeken is költséghatékonyan kialakítható egy megbízható "intra-train" hálózat.

A 3. tézisben kidolgozott algoritmus segítségével a távfelügyeleti rendszer adatai alapján - külön mérések elvégzése nélkül - számíthatóak a vasúti szerelvények hosszirányú alapellenállási paraméterei. Ezek felhasználhatóak az energiaoptimalizációs algoritmusok, valamint egyéb menetdinamikai számítások során.

A 4. tézisben bemutatott módszer segítségével alacsony számítási-kapacitás igényvel határozható meg egy vasúti szerelvény energia-optimalis sebességprofilja. Ez egyrészt alapot ad az 5. tézisben kidolgozott irányítási algoritmusnak, másrészt a gyakorlatban támogathatja a mozdonyvezetők oktatását és értékelését.

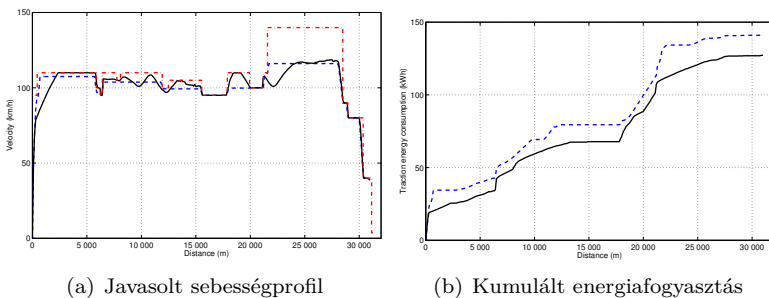
Végül az 5. tézisben szereplő irányítási algoritmus alapjául szolgálhat az energia-hatékony vezetést támogató fedélzeti rendszereknek, valamint a jövőben az automatikus vonatközlekedést irányító rendszerek része lehet.

4. Jövőbeli kutatási irányok

Disszertációmban a közlekedésben használt távfelügyeleti rendszerek tervezési és üzemeltetési kérdésein túl bemutattam, hogy a fejlett telematikai rendszerekben meglévő lehetőségek többek annál, hogy egyszerű adat-továbbító és tároló rendszerként tekintsünk rájuk, hanem azok megfelelő felhasználásával az optimális rendszer-üzemeltetés alapjául szolgálhatnak a közlekedési rendszerek üzemeltetői és irányítói számára.

A numerikus optimalizáció és irányításelmélet elveit felhasználva a járműmozgások optimalizálhatók, így az energiafogyasztás és a környezet-terhelés nagyban csökkenthető. Különösen igaz ez a vasútüzem esetén, ahol - a jelentős járműtömegek miatt abszolút értékben is - nagymértékű energiamegtakarítás érhető el, relatíve alacsony telematikai beruházási és üzemeltetési költségek mellett.

Kidolgoztam egy olyan mozdonyfedélzeti vezetéstámogató algoritmust, amely a járműkövető rendszer által szolgáltatott adatok alapján egy energia- és menetidő-optimalis sebességprofil számol két állomás közötti közlekedésre (6. ábra). Az algoritmus alapján ajánlások adhatók a mozdonyvezetőnek az optimalis sebességre, vagy akár a beavatkozók (vonó- és fékerőt befolyásoló kezelőszervek) kezelésére vonatkozóan. A további kutatási irányokat elsősorban ezen témakör köré érdemes összpontosítani.



6. ábra. Példa az energiamegtakarításra

Az első lehetséges kutatási irány elmélete, bár nem kötődik közvetlenül a disszertációm által érintett elméletekhez, mégis fontos kérdéseket feszeget. Ez pedig az ajánlások oly módon történő megjelenítése, amely

az emberi tényezőket figyelembe véve kielégíti a biztonságos, pontos és hatékony közlekedés igényeit. A megfelelő információk alkalmas formában és időpontban történő kijelzése a vezetéstámogató rendszerek egyik kulcsfontosságú kérdése. Fontos a kijelző tartalmának kialakítása, a frissítés gyakorisága, az ergonómia, az adatok könnyű értelmezhetősége és információtartalma. Mindezen kérdések a közlekedés biztonságára is nagy hatással lehetnek, így kutatásuk fontos feladat.

A másik lehetséges irány az optimalizáció kiterjesztése a vonali és hálózati szintekre a közlekedésirányítási tudományterület elmúlt években elért eredményeit felhasználva. A disszertációm egy jármű futásának optimalizációjára fókuszált, amely a forgalmi viszonyokat még nem vette figyelembe. A következő lépcső lehet az adott vasútvonal forgalmának figyelembe vétele, mivel a telematikai rendszer lehetőséget nyújt az összes vasúti jármű pozíciójának és sebességének közel valós-idejű mérésére és továbbítására. Így az optimalizációba bevehetők az előtte és mögött haladó, valamint keresztező járművek, ezáltal a szükségtelen fékezések száma és mértéke tovább csökkenthető. Ebből kiindulva további kutatások végezhetők a hálózati szintű optimalizáció terén, amellyel akár egy országos hálózat vasúti közlekedésének folyamatos optimalizációja, illetve szabályozása is lehetségessé válik. Bár a közúti közlekedésben ez már a makroszkopikus forgalmi modellezés szintje, a vasúti közlekedésben a jóval kisebb számú, de nagyméretű, valamint térben és időben jól elkülönített járműveket egyedileg irányítják. Így lehetséges a járművek egyedi, de a hálózati hatásokat figyelembe vevő, részletes modellezése és optimalizációja nagyméretű hálózat esetén is.

Amint a fentiekből látható, a tématerület további fontos kutatási lehetőségeket rejt magában, amelyek - a fejlett országok aktuális törekvéseivel összhangban - elősegíthetik a közlekedés energiafogyasztásának és ezáltal a CO₂ kibocsátásának csökkentését.

A tézisekhez kapcsolódó publikációk

- [AB08] Szilárd Aradi and Tamás Bécsi. Flottamenedzsment rendszerek adatátviteli módszerei. *A jövő járműve*, 3((3-4)):39–43, 2008.
- [ABG13a] Szilárd Aradi, Tamás Bécsi, and Péter Gáspár. Development of vehicle on-board communication system for harsh environment. *ACTA TECHNICA JAURINENSIS*, 6(3):53–63, 2013.
- [ABG13b] Szilárd Aradi, Tamás Bécsi, and Péter Gáspár. A predictive optimization method for energy-optimal speed profile generation for trains. *CINTI 2013 : Proceedings of the 14th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics*, pages 135–139, 2013.
- [ABG14] Szilárd Aradi, Tamás Bécsi, and Péter Gáspár. Design of predictive optimization method for energy-efficient operation of trains. *ECC 2014: Proceedings of the European Control Conference (ECC)*, pages 2490 – 2495, 2014.
- [ABG15a] Szilárd Aradi, Tamás Bécsi, and Péter Gáspár. Estimation of propulsion resistance of trains based on onboard telematics system. *International Journal of Heavy Vehicle Systems, Under acceptance*, 2015.
- [ABG15b] Szilárd Aradi, Tamás Bécsi, and Péter Gáspár. Using train interconnection for intra-train communication via CAN. *Acta Polytechnica Hungarica, Under acceptance*, 2015.
- [Ara07] Szilárd Aradi. Vasúti távfelügyeleti rendszer mozdony fedélzeti berendezés alkalmazásával. *Vezetékek Világa*, 12(1):27–31, 2007.
- [BA08] Tamás Bécsi and Szilárd Aradi. Reliability of data transfer and handling in railway telemonitoring systems. *Proceedings of Symposium FORMS/FORMAT 2008*, pages 185–191, 2008.
- [BA09] Tamás Bécsi and Szilárd Aradi. Possibilities of telemonitoring systems in railway traffic. *Archives of Transport System Telematics*, 2(4):20–23, 2009.
- [BA10] Tamás Bécsi and Szilárd Aradi. The control of fleet management systems’ server model. *Periodica Polytechnica ser. Transportation Engineering*, 38(2):113–118, 2010.
- [BAT⁺13] Tamás Bécsi, Szilárd Aradi, Géza Tarnai, Balázs Ságghi, and Attila Cseh. Vasúti járművek energiafogyasztásának csökkentése

prediktív optimalizáció alkalmazásával. In *IFFK 2013: Proceedings of Innováció és fenntartható felszíni közlekedés*, 2013.

Hivatkozások

- [1] T.F. Abdelzaher, J.A. Stankovic, Chenyang Lu, Ronghua Zhang, and Ying Lu. Feedback performance control in software services. *Control Systems, IEEE*, 23(3):74–90, June 2003.
- [2] T. Abdelzaher, Ying Lu, Ronghua Zhang, and D. Henriksson. Practical application of control theory to web services. In *American Control Conference, 2004. Proceedings of the 2004*, volume 3, pages 1992–1997 vol.3, June 2004.
- [3] Wubi Qin, Qian Wang, and A. Sivasubramiam. An α -stable model-based linear-parameter-varying control for managing server performance under self-similar workloads. *Control Systems Technology, IEEE Transactions on*, 17(1):123–134, Jan 2009.
- [4] Anders Robertsson, Björn Wittenmark, Maria Kihl, and Mikael Andersson. Design and evaluation of load control in web server systems. In *American Control Conference, 2004. Proceedings of the 2004*, volume 3, pages 1980–1985. IEEE, 2004.
- [5] Mark C Edwards, John Donelson, Wayne M Zavis, Anand Prabhakaran, David C Brabb, and Allen S Jackson. Improving freight rail safety with on-board monitoring and control systems. In *ASME/IEEE 2005 Joint Rail Conference*, pages 117–122. American Society of Mechanical Engineers, 2005.
- [6] D. Russo, A. Gatti, A. Ghelardini, G. Mancini, A. Verduci, D. Amato, and R. Battani. Power line communication: a new approach for train passenger information systems. *8th World Congress on Railway Research Proceedings*, 1(1), 1993.
- [7] Phil Howlett. An optimal strategy for the control of a train. *Journal of the Australian Mathematical Society Series B*, 31:454–471, 1990.
- [8] P.G. Howlett, I.P. Milroy, and P.J. Pudney. Energy-efficient train control. *Control Engineering Practice*, 2(2):193–200, 1994.
- [9] Rongfang (Rachel) Liu and Iakov M. Golovitcher. Energy-efficient operation of rail vehicles. *Transportation Research Part A*, 37(10):917–932, 2003.

- [10] William W Hay. *Railroad Engineering, Vol. I*. John Wiley and Sons, New York, 1961.
- [11] Simon Iwnicki. *Handbook of railway vehicle dynamics*. CRC Press, 2006.
- [12] B.P. Rochard and Schmid F. A review of methods to measure and calculate train resistances. In *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, volume 214, pages 185–199, 2000.
- [13] Lars Grüne and Jürgen Pannek. *Nonlinear Model Predictive Control*. Springer, 2011.
- [14] P.G. Howlett, P.J. Pudney, and Xuan Vu. Local energy minimization in optimal train control. *Automatica*, 45:2692–2698, 2009.
- [15] P.G. Howlett and P.J. Pudney. *Energy-efficient train control*. Springer, 1995.