

Közúti hálózati modell különböző alkalmazásai a forgalmi folyamatok analízisének

Dr. habil. Péter Tamás¹, Dr. Hány András², Dr. Szauter Ferenc³, Dr. Vadvári Tibor⁴, Dr. habil. Lakatos István⁵

¹ Department of Control for Transportation and Vehicle Systems, Budapest University of Technology and Economics; Stoczek u.

2, H-1111 Budapest, Hungary; peter.tamas@kjk.bme.hu

² ZalaZONE; Industrial Park Ltd., Dr. Michelberger Pál u. 3., H-8900 Zalaegerszeg, Hungary; andras.hany@apnb.hu

³ Széchenyi István University SZE KVJT and JKK; Egyetem tér 1. H-9026 Győr, Hungary; szauter@sze.hu

⁴ University of Pannonia; Gasparich Márk u. 18/A, H-8900 Zalaegerszeg, Hungary; vadvári.tibor@zek.uni-pannon.hu

⁵ Széchenyi István University SZE KVJT and JKK; Egyetem tér 1. H-9026, Győr, Hungary; lakatos@sze.hu

A kutatás, a bonyolult közúti forgalmi folyamatok analízisét segíti elő a többszakaszos többdimenziós parametrikus sebesség-sűrűség függvények bevezetésével. Ennek alkalmazása olyan konkrét területeket támogat, mint pl., Zalaegerszeg városi forgalmi folyamatainak optimalizálását, a trajektóriákon történő haladások vizsgálatával. Ennek alapján vizsgáljuk a parametrikus sebesség-sűrűség függvény bevezetését a hálózaton. Alkalmazzuk a hálózati forgalom általános komplex matematikai modelljét és a szektorokon fellépő kapcsolatokat. A közúti hálózati forgalmi folyamatok ilyen irányban történő kiterjesztett modellezése, validált makroszkopikus hálózati modell használatán alapul és igen összetett elméleti és gyakorlati problémát érint.

1. BEVEZETÉS

A közúti hálózati forgalmi modellezéseknél alapos vizsgálatot igényel a forgalmat befolyásoló modellparaméterek megfelelő megválasztása és ezzel összefüggésben, a környezeti állapotok pontos figyelembevétele is, így az útmínőség jellemzői, a meteorológiai paraméterek kategorizálása és a járműforgalmi jellemzők. Mindezeknél fontos figyelembe venni azt is, hogy milyen gyakorlati problémák merültek fel a szimulációs vizsgálatok során? Milyen empirikus állapotkategóriák bevezetése szükséges ahhoz, hogy a szimulációk esetében biztosítsuk a reális hatásokat a közúti közlekedési folyamatok analízisének. Ezzel kapcsolatban, meghatározandó a kutatáshoz szükséges komplex modell, amelynek vizsgálata a valós közúti jármű-folyamatok figyelembevételével történik, Péter and Bokor (2010) Péter, T. (2012). Ennek során, felhasználandó a tetszőleges méretű és topológiájú közúti hálózat speciális matematikai modellezési technikája is, továbbá felhasználandó a járműsűrűség állapotterben, a komplex rendszer működését leíró nemlineáris differenciálegyenlet-rendszert is, amely a pozitív nemlineáris rendszerek osztályába tartozó makroszkopikus közúti közlekedési modell. Fontos járulékos eredmény, hogy a modell alapján számíthatók a környezeti terhelések is, Lakatos, I (2010), Lakatos, Á. Titrik T. Orbán (2011).

2. A KLASSZIKUS SEBESSÉG-SŰRŰSÉG FÜGGVÉNYEK INTEGRÁLT KITERJESZTÉSE

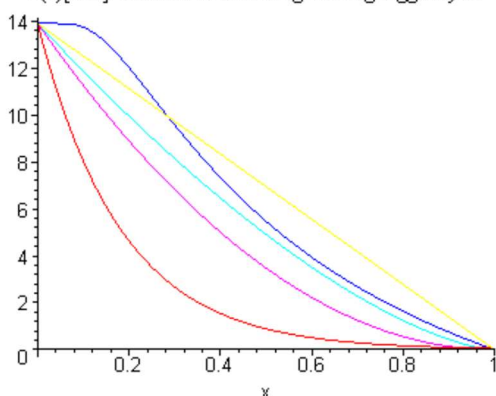
A sebesség-sűrűség függvényekkel kapcsolatban a klasszikus irodalom nem foglalkozik a környezeti paraméterek szerepével. Egy szektoron a sebesség-sűrűség kapcsolatának

leírására az irodalom számos függvénytípust ajánl fel, pl. (1) Greenshields (1935) (lineáris), vagy a (3) Greenberg (1959) (logaritmikus) forma, valamint az alábbi gyakran említett függvények az alábbiakban (2), (4)-(6), Kövesné Gilicze É. - Debreczeni G. (2003). Ezek a függvények mérésekből adódó sztochasztikus kapcsolatokat vesznek figyelembe, amelyekben szereplő V_{Max} , c , q és n konstansok a regressziós módszerek eredményeként származtatott értékek. Az alábbi függvényeknél egy szektoron, az általunk bevezetett x változó jelöli a járműsűrűséget és $V(x)$, a szektoron haladó járművek x értéktől függő várható sebességét.

Greenshields (lineáris):	$V(x) = V_{Max} (1 - x)$	(1)
Kladek:	$V(x) = V_{Max} (1 - e^{-c(\frac{1}{x}-1)})$	(2)
Greenberg (logaritmikus):	$V(x) = V_{Max} \ln(\frac{1}{x})$	(3)
Pipes and Munjal, Drake and Zachor:	$V(x) = V_{Max} (1 - x)^n, n > 1$	(4)
Drew:	$V(x) = V_{Max} (1 - x^{\frac{n+1}{2}}), n > -1$	(5)
Underwood:	$V(x) = V_{Max} e^{-qx}$	(6)

1. táblázat: a klasszikus irodalom, számos sebesség-sűrűség függvénytípust ajánl fel

$V(x)$ [m/s]: Különböző sebesség sűrűség függvények



1. ábra: $V(x)$ járműsebesség [m/s], az x járműsűrűség függvénye

Az 1. ábra szemlélteti a különböző függvények közötti eltéréseket. A fentiek esetében egyes függvényeket a matematikai modellezés szempontjából kritikával kell fogadni, pl. az $\ln$ függvényt alkalmazó (3) összefüggést, azonban a lényegi tulajdonságot mindegyik tartalmazza (növekvő járműsűrűség esetén a járművek haladási sebessége monoton csökken). A $V_{\max}$, illetve a szektoroknál a forgalmi járműösszetételnek megfelelő függvény-típus megválasztását követően a megfelelő környezeti paraméterezéssel további tényezők figyelembevétele is lehetővé válik, így pl. az időjárás, látási viszonyok, út minősége, út szélessége is.

A kiterjesztett sebesség-sűrűség függvények esetében a vizsgálataink figyelembe veszik a környezeti jellemzőket is az ötparaméteres általánosított Greenshields függvény alkalmazásával, Péter T. (2019).

Ekkor, a hálózati modellnél figyelembe vesszük az útminőségi jellemzők mellett a meteorológiai paraméterek változását is és ezt praktikusán a sebesség-sűrűség függvények megfelelő paraméterezésével lehet végrehajtani. Esetükben ezt 5 paraméter (útfelületi minőség, kanyargós út, csúszós út, biztonságérzet-látási viszonyok, útszélesség) alkalmazásával sikerült megvalósítani.

A szakirodalomban a járműsebesség és járműsűrűség kapcsolatára alkalmazott függvények empiriák. Figyelembe veszik, hogy maximális sebességgel lehet haladni, ha a járműsűrűség kicsi, viszont egye csökken a sebesség, ha növekszik a járműsűrűség. Ez alapján, a sebesség-sűrűség függvény egy monoton csökkenő függvény a $[0, 1]$ járműsűrűség tartományon.

A jelen problémára felírt ötparaméteres általánosított Greenshields függvénynél a kiindulási alap a lineáris Greenshields függvény, amely a legrégebb óta, 1935-től létezik a közlekedési modellezések körében, és a járműsebesség és járműsűrűség kapcsolatának feltárásánál az első, méréseken alapuló empirikus függvény volt. Az általunk bevezetett általánosított Greenshields függvény viszont nemlineáris és parametrikus sebesség-sűrűség függvény:

$$V(x) = \frac{e_4 V_{\max}}{e_3 + e_2 \left(\frac{x}{1 - x^{e_5}} \right)^{e_1}}$$

ahol: az $e_1, e_2, \dots, e_5$, az egyes paraméterek. Ennek a függvénynek a triviális létjogosultságát az támasztja alá, hogy azon speciális esetben, ha $e_1=1, e_2=1, \dots, e_5=1$, akkor visszakapjuk a klasszikus lineáris Greenshields függvényt.

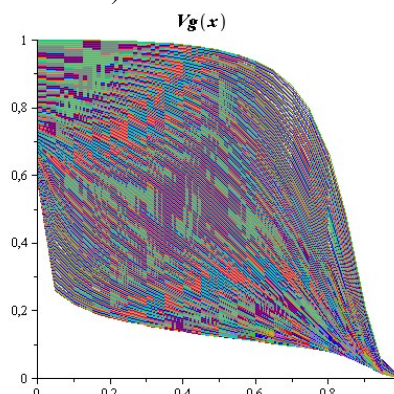
Megjegyzés: A fenti függvénynél e_4, e_3 és e_2 helyettesíthető két paraméterrel is (pl. A és B-vel), ha a nemzérus e_4 -el osztjuk a számlálót és a nevezőt is.

$$V(x) = \frac{V_{\max}}{A + B \left(\frac{x}{1 - x^C} \right)^D}$$

Ekkor azonban nem vehető figyelembe az a jelenség, hogy ugyan maximálva van a sebesség értéke a $V_{\max}$ által, azonban a vezetők választanak $V_{\max}$ -nál nagyobb, de kisebb értéket is az egyes forgalmi körülmények közepette és ezt biztosítja az e_4 paraméter. Visszatérve az ötparaméteres Greenshields függvényhez, az alábbi 2. táblázat tartalmazza az e_i paraméterek értéktartományait és a 2. ábra szemlélteti a paraméteres görbesereget.

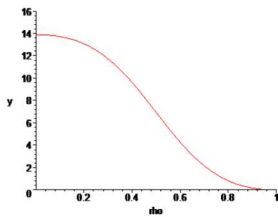
e	Paraméter	Kedvezőten	Kedvező
e_1	Útminőség	0,1 – 0,3	3 – 4
e_2	Kanyargós út	3 – 4	0,1-0,2
e_3	Csúszós út	1,2 – 4	$e_3 < 1$
e_4	Biztonságérzet, látási viszonyok	0,5 – 0,7	$e_4 > 1$
e_5	Út szélessége	0,1 – 0,2	$e_5 > 4$

2. táblázat: Az általánosított Greenshields függvény becsült paraméterei és paramétertartományai (a táblázatban e_3 és e_4 tekinthetők meteorológiai paramétereknek is)



2. ábra: Az általánosított Greenshields függvény képlete alapján meghatározott paraméteres görbesereg, ahol az alsó határgörbe a legkedvezőtlenebb, a felső pedig a legkedvezőbb esetet szemlélteti

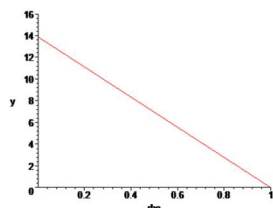
A sebességet nem csak az x járműsűrűség determinálja, hanem a fent említett e környezeti paramétervektorral figyelembe vett különböző környezeti tényezők is: $V=V(x,e)$. Az alábbiakban röviden tekintünk egy, a gyakorlatban jól alkalmazható, $V=V(x,e)$ függvényt Péter T. (2019).



$$V(x,e) = \frac{e_4 \cdot V_{Max}}{e_3 + e_2 \cdot \left(\frac{x}{1-x^{e_5}} \right)^{e_1}}$$

Ahol ebben az esetben a paramétervektor 5 paramétert tartalmaz: e_1, e_2, e_3, e_4, e_5

3. ábra: $V(x,e)$ függvény



4. ábra: $V(x,e)$ függvény

A 2. táblázat az egyes paraméterek lehetséges tartományánál a kedvezőtlen és kedvező paramétertartományt mutatja be. A két diszjunkt tartomány között helyezkedik el a közbelső tartomány, amelyben a leggyakrabban fordul elő az adott paraméter. A tartományok adatai tapasztalati értékeknek tekintendők. Adott, konkrét esetben a sebesség-sűrűség mérést követően regresszió analízissel történik az $e=[e_1, e_2, e_3, e_4, e_5]$ paramétervektor koordinátáinak meghatározása.

3. AZ EMPIRIKUS SEBESSÉG-SŰRŰSÉG FÜGGVÉNYEK MEGHATÁROZÁSA

A jármű jellemzőkkel kapcsolatban ki kell emelni, hogy az egyedi járműhossz-paramétereket és az egyedi járműsebességeket tekintve, ezeknek az összetett hatása érvényesül a makroszkopikus folyamatoknál. A szektorokon, a valós környezeti és forgalmi körülmények között, a saját dinamikai tulajdonságaik alapján haladnak előre és manővereznek az adott hosszúságú járművek - amelyet pl. a saját hajtásláncuk is befolyásolhat, Pup Dániel, TITRIK Ádám, SZAUTER Ferenc, BISITS László (2013). Ezt figyelembe véve, a t időpontban a szektoron a makroszkopikus folyamatra vonatkozó empirikus sebesség-sűrűség függvényt oly módon határozzuk meg, hogy a járműsűrűséget az összes járműhossz és szektorhossz hányadosa adja, a sebességet pedig, a járművek hosszával súlyozott átlagsebességek adja. (Az adott szektorra egy napszakban, ezen empiria felhasználásával történik a fenti görbeseregéből a regressziós módszert alkalmazó kiválasztás.)

4. A KÖZÚTI HÁLÓZATI TRAJEKTÓRIÁN TÖRTÉNŐ MOZGÁS LEÍRÁSÁRA n VÁLTOZÓS SEBESSÉG-SŰRŰSÉG FÜGGVÉNNYEL

Ebben a kutatásban, a többváltozós sebesség-sűrűség törvény azon fontos modellezési elvet mond ki, hogy az egyes kijelölt szektorokon a mérések alapján meghatározott bázis sebesség-sűrűség törvényeknek kell érvényben maradniuk modellezés során. Ez kifejtve azt jelenti, hogy a képletben az i -ik szektornál az f_i magfüggvény rögzített megadott típusú függvény, amelynek értéke természetesen függ a szektor járműsűrűségétől, az e_i környezeti paraméter vektortól és a t időtől is. Ugyanakkor, minden egymáshoz csatlakozó kettő vagy több szektor esetén is összefüggő, koherens egységet kell alkotniuk a sebesség-sűrűség törvényeknek. Ennek a követelménynek megfelelő, a közúti hálózati trajektórián történő mozgás leírására n változós sebesség-sűrűség törvényt adható meg és kimutatható, hogy a hálózat bármely $n \geq 1$ szektorból álló trajektóriáján a szabad áramlás feltétele esetén, az alábbi n változós sebesség-sűrűség törvény érvényes:

$$v(x_1, x_2, \dots, x_n, t) = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{\sum_{i=1}^n \frac{l_i}{V_i} [1 + f_i(x_i, e_i, t)]}$$

Ahol:

$V_i > 0$ az i -ik szakaszon megengedett maximális sebesség értéke, ($i=1, 2, \dots, n$)

$l_i > 0$ az i -ik szektor hossza

$x_i = x_i(t)$ az i -ik szakaszon t időpillanatban fellépő járműsűrűség értéke

$f_i(x_i, e_i, t)$ i -ik szektorra jellemző valós magfüggvény, amelyre: $f_i(x_i, e_i, t) \geq 0$, $f_i(0, e_i, t) = 0$ és $f_i(x_i, e_i, t)$ a $0 \leq x_i < 1$ intervallumon szigorúan monoton növekvő, x_i és t szerint differenciálható függvény

e_i az i -ik szektorra jellemző környezeti paraméter vektora, ahol $\forall e_i$ paramétervektor 5 dimenziós vektor

A fenti képletből adódik, hogy a trajektória teljes befutásánál elérhető maximális sebesség az alábbi:

$$V(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{\sum_{i=1}^n \frac{l_i}{V_i}}$$

A fenti maximális sebesség triviálisan akkor lép fel, amikor minden i szektoron a 0-hoz közelítő járműsűrűség esetén az $f_i(0, e_i, t)$ magfüggvény is 0-hoz közelít.

Ebben az eredményben az új elem az, hogy figyelembe veszi a hálózati trajektóriákon történő haladásnál a szektorokon fellépő változó x_i járműsűrűség állapotjellemzők mellett, az e_i környezeti paraméter vektorokat is. Az általa meghatározott sebesség adott t időpontban egy származtatott komplex állapotjellemzőnek tekinthető, amely a hálózati tartomány két különböző A és B pontját összekötő kiválasztott trajektóriát jellemez. Az n elemű egymáshoz kapcsolódó szektorokból álló trajektória hosszát is figyelembe véve ugyancsak származtatható az adott t időponthoz kapcsolódó várható eljutási idő is. Ennek az eljárásnak az az előnye, hogy egy igen gyors módszert határoz meg.

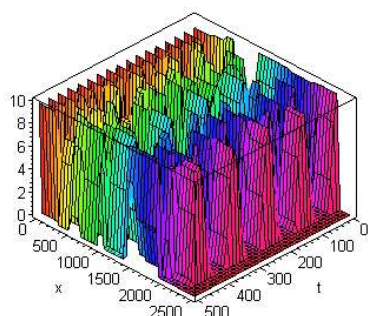
A hálózati modell alkalmas arra is, hogy meghatározzuk az A és B pont közötti $v(t)$ sebesség függvényt, viszont ez egy időigényesebb módszer.

A $v(t)$ sebességprofilja röviden az alábbiak szerint határozható meg.

A hálózati modell alapján a vizsgált hálózati tartomány minden szektorára a megválasztott $[t_0, T]$ időintervallumon számítható a járműsűrűség állapotjellemző és ebből a $v(t)$ haladási sebesség is, a modellben megadott sebesség-sűrűség függvények alapján.

Ezt követően a hálózat tetszőleges „A” kiindulási pontjából elindulva, egy megválasztott trajektória mentén a hálózat másik „B” pontjáig haladunk (amely a trajektória utiterve).

Ezt követően létrehozuk az ehhez a trajektóriához tartozó kétváltozós $V(t, X)$ függvényt (felületet) oly módon, hogy az X tengely hossza mentén van a kiegyenesített trajektória és a t tengely mentén van elhelyezve azon időintervallum, amelyben $[t_0, T]$ biztosan benne van, (ennél t_0 az indulási időpont és T a várható érkezési időpont). Az 5. ábrán látható $V=V(t, X)$ felületet azon sebesség értékeket szemlélteti, amelyeket a modellszámítás során nyertünk a (t, X) ponthoz hozzárendelt sebesség értékek által.



5. ábra: Egy kiegyenesített X trajektóriához és t időponthoz tartozó kétváltozós $V(t, X)$ függvény

A fent meghatározott $V(t, X)$ kétváltozós sebesség függvény ismeretében kiszámíthatjuk az $X(t)$ út-idő függvényt az alábbi integrálegyenletből kiindulva T. Peter, and M. Basset (2009)

$$X(t) = \int_{t_0}^t V(\tau, X(\tau)) d\tau$$

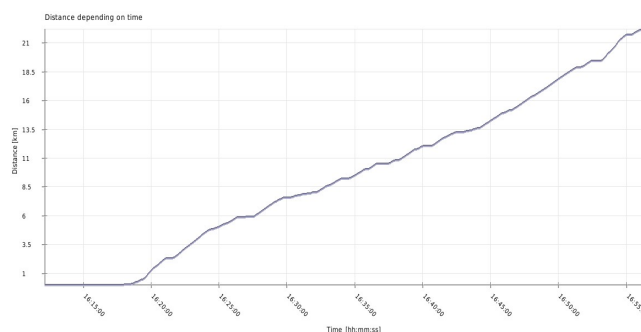
A feladat az alábbi elsőrendű nemlineáris differenciálegyenlet megoldását igényli az $X(t_0)=X_0$ kezdeti feltétel mellett:

$$\frac{dX(t)}{dt} = V(t, X(t)) - V(t_0, X(t_0))$$

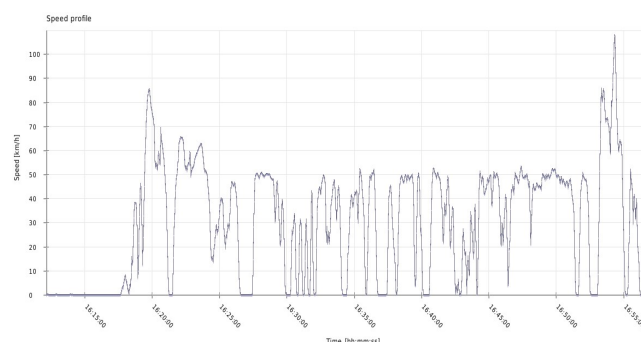
$$X(t_0) = X_0$$

A t_1 célba érési időponttól $X(t)$ már nem növekszik, tehát a célba érési idő $T=t_1-t_0$.

Alább összetartozó út-idő és sebesség-idő diagramok láthatók, amelyek egy győri közlekedési modellezésből származnak, 6. ábra és 7. ábra.



6. ábra: Út-idő diagram egy győri szimulációs modellezés esetén



7. ábra: Sebesség-idő diagram a fenti szimuláció esetén

A fentiek alapján, amennyiben a hálózati modellnél figyelembe kívánjuk venni az útminőségi jellemzők és a meteorológiai paraméterek változását, akkor ezt praktikusán a sebesség-sűrűség függvények megfelelő paraméterezésével lehet végrehajtani, esetünkben ezt 5 paraméter alkalmazásával sikerült megvalósítani.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A **paraméteres sebesség-sűrűség függvényekkel kapcsolatban megállapítottuk, hogy** az egyes kijelölt bázis szektorokon a mérések alapján meghatározott bázis sebesség-sűrűség törvényeknek érvényesnek kell maradniuk az ott jelen lévő környezeti paraméterek figyelembevételével, viszont minden egymáshoz csatlakozó kettő vagy több szektor esetében is összefüggő, koherens egységet kell alkotniuk a sebesség-sűrűség törvényeknek.

Ennek a követelménynek megfelelő, a közúti hálózati trajektórián történő mozgás leírására n változós sebesség-sűrűség törvény adható meg. Kimutattuk, hogy a hálózat bármely $n \geq 1$ szektorából álló trajektóriáján a szabadáramlás feltétele esetén az alábbi n változós sebesség-sűrűség törvény érvényes:

$$v(x_1, x_2, \dots, x_n; e_1, e_2, \dots, e_n) = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{\sum_{i=1}^n \frac{l_i}{V_i} [1 + f_i(x_i, e_i)]}$$

Ahol:

$V_i > 0$ az i -edik szektoron megengedett maximális sebesség értéke, ($i=1,2,\dots,n$)

$l_i > 0$ az i -edik szektor hossza

$x_i = x_i(t)$ az i -edik szektoron t időpillanatban fellépő járműsűrűség értéke

$f_i(x_i, e_i)$ az i -edik szektorra jellemző valós magfüggvény, amelyre: $f_i(x_i, e_i) \geq 0$, $f_i(0, e_i) = 0$ és $f_i(x_i, e_i)$ a $0 \leq x_i \leq l$ intervallumon szigorúan monoton növekvő, x_i szerint folytonosan differenciálható függvény

$e_i \in \mathbb{R}^p$ az i -edik szektorra jellemző p - dimenziós környezeti paraméter vektor

A fentiek alapján a trajektória teljes befutásánál elérhető maximális sebesség az alábbi:

$$V(x_1, x_2, \dots, x_n; e_1, e_2, \dots, e_n) = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{\sum_{i=1}^n \frac{l_i}{V_i}}$$

A $V(x, e)$ paraméteres függvények meghatározására javasolt a gépjárművezetői szimulátort alkalmazó eljárások kidolgozása. Ennek megfelelően alkalmazó a ROAD STAR szoftver, amely gépjárművezetői szimulátor és új lehetőséget biztosít a komplex sebesség-sűrűség függvények paramétereinek meghatározására. Továbbá az erre a célra kialakított Infokommunikációs rendszer alkalmazásával számíthatóak a környezeti terhelések is, Adam Titrik, István Lakatos, David Czeglédi (2015), Adam Titrik (2016). Ezek a $V(x, e)$ paraméteres függvények a közúti hálózati folyamatok korábbinál pontosabb modellezését teszik lehetővé a jövőben. A matematikai modellezéshez, a szimulátor alkalmazása azért ideális, mert tökéletesen megvalósíthatóak a „tisztá szintetikus” forgalmi helyzetek létrehozása és ezen helyzetek pontos újra - és újra történő generálása is - a különböző vezetők és járművek - azonos forgalmi szituációkban történő vizsgálatánál. A szimulátor széles teret biztosít minden környezeti változó beállítására és közlekedési szituáció létrehozására. A vizsgálat elvégezhető városi forgalomban, országúton, autópályán, kanyarok közepette és hegyi úton is, de akár alagútban is. A szimulátor alkalmazásával figyelembe vehetünk további környezeti paraméterek is, így beállíthatók a különböző időjárási és látási viszonyok, az eső az erős szél, a havas, csúszós út ill., a látási viszonyok változása a ködben, vagy az éjszaka történő vezetés is. Ily módon, minden adott ahhoz, hogy valós forgalmi környezeti feltételeket teremtsünk és kiterjesztett vizsgálati módszert fejlesszünk ki a környezeti hatásokat figyelembe véve a sebesség-sűrűség függvények elmélete területén és ezek eddigénél szélesebb körű alkalmazására. Végül, a kutatás a különböző időjárási, látási és útviszonyok mellett képes figyelembe venni a valós forgalmi viszonyokat is a járműösszetétel és a járműparaméterek megfelelő kombinálásával. A modellezést és a számítási részleteket MAPLE számítógépes, algebrai program felhasználását is igénylik. Ez a modellezés és a számítások

eredményei lehetővé teszik a tesztprogramok tervezési és értékelési módszereinek továbbfejlesztését is.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A konferencia cikk a TKP2021-NKTA-48 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

IRODALOM

- Greenberg (1959): Greenberg, H.: "An Analysis of Traffic Flow", Operations Research, Vol.7, pp.79-85, 1959.
- Greenshields (1935): Greenshields, B.D.: A study of traffic capacity. Proceedings of the highway Research Board, Proc. Vol. 14. pp. 448-477. 1934.
- Kövesné Gilicze É. és Debreczeni G. (2003.3): Kövesné Gilicze É. – Debreczeni G. Intelligens közúti közlekedési rendszerek és út-jármű rendszerek matematikai modellezése és analízise, Kutatási jelentés BME Közlekedésüzemi Tanszék. Budapest, 2003. pp 1-49.
- Lakatos, I (2010): *Instacioner üzemállapotú motorteljesítmény-mérés görgős járműfékpadon* In: Bikfalvi, MicroCAD 2010: XXIV. microCad International Scientific Conference: E szekció: Anyagtudomány és -technológia. Miskolci Egyetem (2010) pp. 33-38. , 6 p.
- I. Lakatos, Á. Titrik T. Orbán (2011): Data determination of an internal combustion engine for model set-up. (2011) HUNGARIAN JOURNAL OF INDUSTRY AND CHEMISTRY 0133-0276 2450-5102 39 1 35-40
- T. Peter, and M. Basset (2009): Tamas PETER, Michel BASSET Application of new traffic models for determine optimal trajectories, pp. 89-94. Sessions 1 Automation and Mechatronics. (1-C-1 Sistem Modelling and Control). Oct.21-Oct.23, INTERNATIONAL FORUM ON STRATEGIC TECHNOLOGIES (IFOST 2009) HoChiMinh City University of Technology, Vietnam.
- Péter and Bokor (2010): Péter, T., and Bokor, J. Modeling road traffic networks for control. Annual international conference on network technologies & communications: NTC 2010. Thaiföld, 2010.11.30-2010.11.30. pp. 18-22. Paper 21. (ISBN:978-981-08-7654-8)
- Péter, T. (2012): Peter, T, Modeling nonlinear road traffic networks for junction control, International Journal of Applied Mathematics and Computer Science (AMCS), 2012, Vol. 22, No. 3. pp. 723-732. DOI: 10.2478/v1006-012-0054-1
- Péter T. (2019): Péter Tamás, Közúti járműforgalmi folyamatok nemlineáris modellezése nagyméretű hálózatokon, MTA Doktori értekezés pp 1-42
- Pup Dániel, TITRIK Ádám, SZAUTER Ferenc, BISITS László (2013): Intelligens elektromos hajtáslánc illesztése és optimalizálása egy meglévő városi járműbe. (2013) Megjelent: OGÉT 2013 XXI Nemzetközi Gépészeti Találkozó pp. 330-333,
- Adam Titrik, István Lakatos, David Czeglédi (2015): Saturation Optimization of Selective Waste Collection Vehicles Based on Real-Time Info-Communication System. ASME 2015 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference
- Adam Titrik (2016): Ádám Titrik. Sign-in-time Based Info-communication System for Collecting Selective Waste. (2016) PERIODICA POLYTECHNICA TRANSPORTATION ENGINEERING 0303-7800 1587-3811 44 1 1-4