

Komplex közlekedésdinamikai rendszer vizsgálata

Szauter Ferenc*, Péter Tamás** és Bokor József***

Széchenyi István Egyetem Járműipari Kutató Központ
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék
(e-mail * szauter@sze.hu ; e-mail **: tamas.peter@mail.bme.hu; e-mail ***: bokor@sztaki.hu.)

Abstract: A városi útvonal felvételével, a forgalom szimulációs módszerünkkel és a validált modell alapján, mérést helyettesítő gyors és költséghatékony módszert tudunk alkalmazni a vezetőkhöz terhelésanalízisére, amely paramétrezhető a jármű és járművezető jellemzői alapján is. A validated, quick and cost-effective alternative method can be applied to analyze driver load, which is based on the track record of the city, traffic simulation model and parameters of the vehicle and driver characteristics

1. BEVEZETÉS

A felszíni közlekedés egy rendkívül komplex dinamikus rendszer. Ennek korszerű vizsgálata is komplex módszereket igényel. Ma már elválaszthatatlan a hálózati folyamatok és a hálózatokon közlekedő járművek egy rendszerben történő vizsgálata.

E célból a pozitív rendszerek elméletén alapuló vizsgálati módszertant javasolunk, ahol a modell lényegét tekintve, makroszkopikus modell.

A pozitív rendszerek irányíthatóságának és a megfigyelhetőségének a feltételei nem vezethetők le egyértelműen az általános rendszereknél megismert módszerekből, Luenberger (1979). A probléma különösen igaz, ha nemcsak az állapotokra, de még a beavatkozó jelre is nem negatív értékkészletet követelünk meg. Ezért a közúti folyamatok tisztán pozitív rendszerként történő leírása az irányítástechnikai szempontból sem triviális feladat. Az irányítási feladat ebben az esetben azt jelenti, hogy úgy kell egy állapotból egy másik állapotba irányítani a rendszert, hogy az állapotátmenet közben is érvényes, hogy nem negatív értékeket vehetnek fel az állapotok, Varga I. and Bokor J. (2007).

Ez a környezet – annak ellenére, hogy makroszkopikus a modell – alkalmas lesz arra is, hogy a valós közlekedési folyamatokat (lámpák, torlódások stb.) figyelembe véve, egy tetszőleges indulási időpontban a hálózat bármely A pontjából egy kiválasztott B pontjára történő valós eljutási folyamatot leírjon, T. Peter, and M. Basset (2009). Ez, az útvonal ajánlásokon kívül az intelliges jármű vizsgálati területen is fontos eredmény, (pl. a gépjárművek dinamikai analízise, méretezése, környezeti terhelése, emisszió vizsgálatok, stb.) mivel különböző időpontokban és helyeken, nagyszámú járműre rendkívül gyorsan elvégezhető a számítások.

A valós forgalomban mért trakektoriák alkalmasak a hálózati modell validálására is!

2. A MODELL

A kutatásainkban kiindulásul a szűkített hálózati forgalmi modellt alkalmazzuk Péter, T. (2012), Péter T, and Bokor J (2011, 2010.1, 2010.2.), Péter, T. and Szabó, K. (2012), amely egy tartományban elhelyezkedő n szektorból álló x állapotvektorral jellemzett belső hálózati elemet tartalmaz. A modellez m darab külső szektorok is tartozik, amelyek közvetlen kapcsolatokkal rendelkeznek valamely belső szektorral. Ez utóbbiak s állapotvektorát mérés alapján ismertnek tekintjük. Ennél a modellnél a kapcsolati hipermátrixot alkotó mátrixok közül, csak a K_{11} és K_{12} mátrixok játszanak szerepet, mert általuk képviselve van minden átadás, amely a belső szektorokra vonatkozik.

$$\dot{x} = \langle L \rangle^{-1} [K_{11}(x, s)x + K_{12}(x, s)s] \quad (1)$$

Ahol: $x \in \mathfrak{R}^n$, $\dot{x} \in \mathfrak{R}^n$, $s \in \mathfrak{R}^m$, $L = \text{diag}\{l_1, \dots, l_n\}$, l_i a főátlóban a belső szakaszok hossza ($\forall l_i > 0$, $i=1,2,\dots,n$), $K_{11} \in \mathfrak{R}^{n \times n}$, $K_{12} \in \mathfrak{R}^{n \times m}$.

3. A SEBESSÉGFOLYAMATOK ANALÍZISE

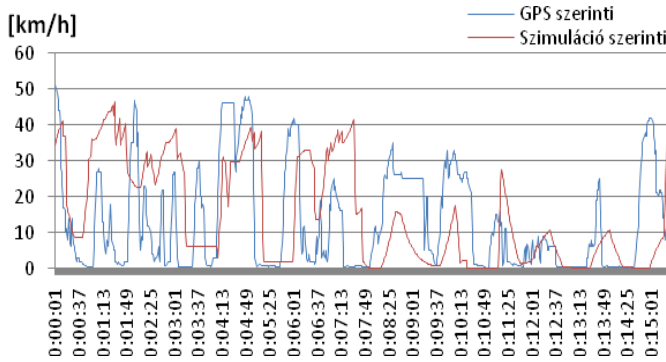
Modell-feltételezés, hogy $\forall x_i$, ($x_i \in [0,1]$, $n=1,2,\dots,n$) állapotjellemzőhöz hozzárendelhető a $v_i \geq 0$ sebesség érték is, egy x_i szerint folytonosan differenciálható f_i függvény alkalmazásával:

$$v_i = f_i(x_i(t)) \quad (2)$$

A makroszlópikus hálózati modellből az egyedi sebességfolyamatok kinyerésével és egy vezető-jármű modell felhasználásával, vizsgálni lehet az egyes járművek motorteljesítményigényét és károsanyag kibocsátását is. A sebességfolyamatok alkalmasak modellvalidálásra is. A modell validálása Budapesten történt a Petőfi híd és Nyugati

térig terjedő körúton, Zsuzsanna Bede, Tamás Péter (2010, 2011.1, 2011.2), Peter, Fülep and Bede (2011).

A lámpás kereszteződéseknel aktuális lámpa-beállítási adatokat mellett, és a helyszínen elvégzett forgalomszámálási adatok alapján. A vizsgált útvonal, a különböző szimulációs időpontokban bejárásra került GPS készülékkel felszerelt gépjárművekkel is és a járműves mérés során rögzítettük a valódi sebességprofilokat is. A szimuláció és a járműves mérés során kinyert sebesség-idő diagramok összehasonlítása természetesen megmutatta, hogy az idődiagramokat egy sztochasztikus folyamat egy-egy realizációjának kell tekinteni és valószínűségelméleti, ill. statisztikai analízis útján kell vizsgálni.



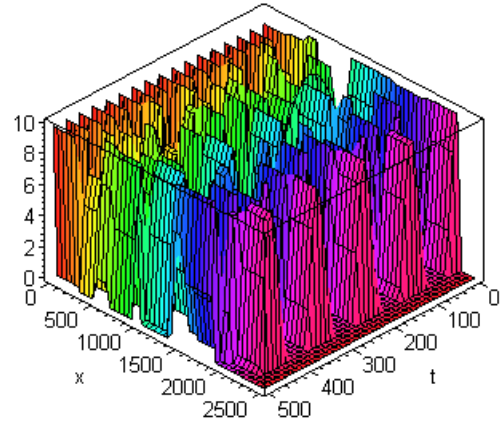
1. ábra: a szimulációból kinyert és a GPS készülékkel mért sebességprofilok

Nagyszámú, nemparaméteres statisztikai analízissel, u.n. homogenitás vizsgálattal megállapítást nyert, hogy a sebességprofiloknál a mért és szimulációval kapott két-két minta 95% -os szinten homogénnek tekinthető. A sebesség adatokból az adott jármű motorteljesítmény igényére is hasonló eredményt kaptunk.

A modell validálása során, így megállapítható volt az alkalmazhatóságával kapcsolatban, hogy a modell lehetővé teszi olyan egyedi sebességfolyamatok kinyerését, amelyek a valóságnak megfelelnek, Peter, Fülep and Bede (2011).

A modelltől a fentiek alapján közvetlenül kinyerhetők a sebességfolyamatok a hálózat tetszőleges trajektóriáin is. Ekkor a hálózat egy tetszőleges „A” pontjából t_0 időpontban elindulunk a hálózat egy másik „B” pontjába egy megválasztott trajektória mentén. A továbbiakban ezen az útvonalon vizsgáljuk a járműdinamikai hatásokat.

A kijelölt trajektória mentén kiszámolható a haladás szempontjából fontos $X(t)$ út-idő függvény is és a hozzá tartozó T - célba érési idő is. Az állapotegyenlet által kiszámítható a kiegyenesített X trajektóriához és t időponthoz tartozó $V(t,X)$ kétváltozós sebesség függvény 2. ábra:



2. ábra: egy kiegyenesített X trajektóriához és t időponthoz tartozó $V(t,X)$ függvény

Az $X(t)$ út-idő függvényt kiszámíthatjuk a meghatározott $V(t,X)$ kétváltozós sebesség függvény ismeretében, az alábbi integrál-egyenlet megoldásával:

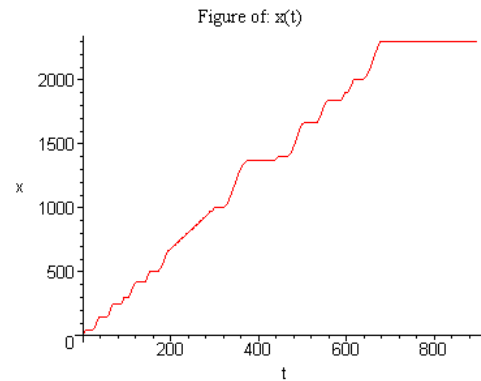
$$x(t) = \int_{t_0}^t V(\tau, x(\tau)) d\tau \quad (3)$$

A feladat az alábbi elsőrendű nemlineáris differenciálegyenlet megoldását igényli, az $X(t_0)=x_0$ kezdeti feltétel mellett:

$$\frac{dX(t)}{dt} = V(t, X(t)) - V(t_0, X(t_0)) \quad (4)$$

$$x(t_0) = x_0$$

A megoldás numerikus módszer alkalmazásával a rendelkezésünkre áll, pl. 3. ábra:



3. ábra: út-idő diagram

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

Megjegyzés: Ha több trajektória esetén az optimális célba érést vizsgálunk, a probléma egy variációs számítási feladat megoldását igényli T. Peter, and M. Bassett (2009). Minden

trajektória mentén, a t időpontig befutott X hosszúságú út egy X(t) útvonal-függvényt eredményez, amelyhez a „B”- pontba érkezéskor egy T eljutási idő tartozik és ez a leképezés szolgáltatja a J valós funkcionált:

$$J: X(t) \rightarrow T \quad (5)$$

A nagyméretű közlekedési hálózatokat leíró modell tehát alkalmazható valós idejű, a forgalomalakulást figyelembe vevő útvonalajánláshoz is.

4. A GYORSULÁSFOLYAMATOK ANALÍZISE

A sebességfolyamatok ismerete alapján, a szakaszokon fellépő hosszirányú gyorsulások is kiszámíthatók a forgalmi modell tetszőleges i-ik szakaszán:

$$\dot{v}_i(t) = a(t) = \frac{df_i(x_i(t))}{dx_i} \cdot \dot{x}_i(t) = f'_i \cdot \dot{x}_i \quad (6)$$

(i=1,2,...,n).

Ekkor a teljes belső tartományon a sebességvektor:

$$v(t) = f(x(t)) = \begin{bmatrix} f_1(x_1) \\ f_2(x_2) \\ \dots \\ f_n(x_n) \end{bmatrix} \quad (7)$$

Továbbá, a deriválás elvégzésével a gyorsulásvektor is felírható:

$$a(t) = \dot{v}(t) = \begin{bmatrix} f'_1(\dot{x}_1) \\ f'_2(\dot{x}_2) \\ \dots \\ f'_n(\dot{x}_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f'_1 & & & \\ & f'_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & f'_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dots \\ \dot{x}_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

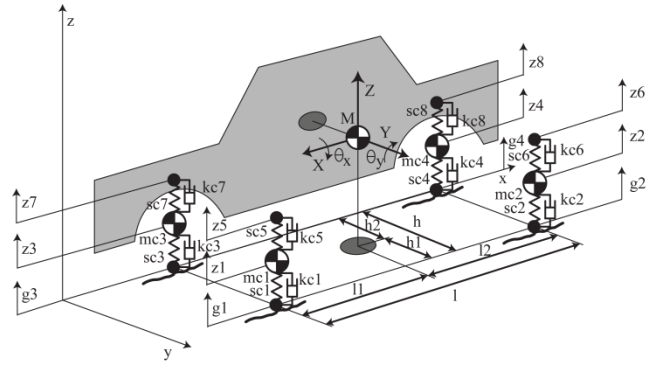
Ily módon a rendszer állapotegyenlete alapján közvetlenül számítható a folytonos gyorsulásvektor is:

$$a(t) = \langle f_i^A \rangle \cdot \dot{x} = \left\langle \frac{f_i^A}{l_i} \right\rangle \cdot [K_{11}(x, s)x + K_{12}(x, s)s] \quad (9)$$

Ahol: $a \in \mathfrak{R}^n$, $\langle f_i^A \rangle = \text{diag}\{f'_1, f'_2, \dots, f'_n\}$.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

Összegezve az eredményeket: kiszámítható a kiválasztott trajektória mentés az X(t) út-idő függvény, amely megadja a gépjármű tartózkodási helyét a t időpontban, továbbá ismerjük a sebességét és gyorsulását is a t időpontban a trajektória aktuális szakaszán.



4. ábra: Játműmodell

A fentiek alapján, a hálózati forgalmi modell már fontos adatokat szolgáltat a járműdinamikai vizsgálatokhoz. Ez az analízis a gyorsasága miatt és az egy időben, a nagyszámú járműre történő alkalmazhatósága miatt, igen fontos hatást gyakorol a további járműipari kutatásokra is, Péter T. (2000), Gérard Gissinger, Tamás Péter, Antoine Racle (2002), Varga Z. and Szauter F. (2009, 2010), Szauter F. and Kalincsák I. (2010).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„TÁMOP-4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0012: „Smarter Transport” - Kooperatív közlekedési rendszerek infokommunikációs támogatása - A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

A kutatási munkát a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0009 projekt támogatta.

„TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0012: Hibrid és elektromos járművek fejlesztését megalapozó kutatások - A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

IRODALOM

- Luenberger (1979): Luenberger, D.: Introduction to Dynamics Systems, Wiley, New York, 1979
- Varga I. and Bokor J. (2007): István Varga, József Bokor: New Approach in Urban Traffic Control Systems, Periodica Polytechnica ser. Transp. Eng., Budapest, Hungary, 2007, Vol. 35. No 1-2. pp. 3-13
- 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, 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, and Bokor J (2010.1): Research for the modelling and control of traffic, In: Scientific Society for Mechanical Engineering ,33rd Fisita-World Automotive Congress: Proceedings, Budapest, Magyarország, 2010.05.30-2010.06.04. Budapest: GTE, 2010. pp. 66-73. (ISBN:978-963-9058-28-6)
- Péter and Bokor J (2010.2): 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 and Bokor J (2011): T. Peter, J. and Bokor: New road traffic networks models for control, *GSTF International Journal on Computing*, vol. 1, Number 2. pp. 227 -232. DOI: 10.5176_2010-2283_1.2.65 February 2011
- Péter, T. and Szabó, K. (2012): Tamás PÉTER and Krisztián SZABÓ: A new network model for the analysis of air traffic networks. *Periodica Polytechnica- Transportation Engineering* 40/1 (2012) 39–45 DOI: 10.3311/pp.tr.2012-1.07
- Zsuzsanna Bede, Tamás Péter (2010): The Extraction of Unique Velocity Processes from a Macro Model *PERIODICA POLYTECHNICA-TRANSPORTATION ENGINEERING* 38:(1-2) pp. 114-121. (2010)
- Zsuzsanna Bede, Tamás Péter (2011.1): The development of large traffic network model, *PERIODICA POLYTECHNICA-TRANSPORTATION ENGINEERING* 39:(1-2) pp. 3-5. (2011)
- Zsuzsanna Bede, Tamás Péter (2011.2): The mathematical modeling of Reversible Lane System *PERIODICA POLYTECHNICA-TRANSPORTATION ENGINEERING* 39:(1-2) pp. 7-10. (2011)
- Peter, Fülep and Bede (2011): Peter T., Fülep T. and Bede Zs.: The application of a new principled optimal control for the dynamic change of the road network graph structure and the analysis of risk factors, 13th EAEC European Automotive Congress 13th-16th June 2011. Valencia – SPAIN Society of Automotive Engineers (STA), 2011. pp. 26-36. (ISBN:978-84-615-1794-7)
- Péter T. (2000): Mathematical Transformations of Road Profile Excitation for Variable Vehicle Speeds. In: Bokor J, Nándori E, Várlaki P, Studies in vehicle engineering and transportation science: a festschrift in honor of professor Pál Michelberger on occasion of his 70th birthday Budapest: Hungarian Academy of Sciences - Budapest University of Technology and Economics, 2000. pp. 51-69. (ISBN:963 420 660 3)
- Gérard Gissinger, Tamás Péter, Antoine Racle (2002): NON-LINEAR MODELLING, IDENTIFICATION AND VALIDATION In: Zobory I Proceedings of the 8th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, Budapest, Magyarország, 2002.11.11-2002.11.13. Budapest University of Technology and Economics, 2002. pp. 227-240.
- Varga Z. and Szauter F. (2009) The information content of the automatic gearboxes of buses of the vehicle during an operation, 8th Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics, 20 -23 May, 2009, CD
- Varga Z. and Szauter F. (2010) The Information Content of the Automatic Gearboxes, FISITA World Automotive Student Congress, Budapest, 30 May - 4 June 2010, CD
- Szauter F. and Kalincsák I. (2010) Motion feature of large trucks in roundabouts and turbo roundabouts, XVII. OGÉT, Baia Mare, Romania, 22-25 April, 2010, p. 400-403.