

Közúti járművek biztonságának analízise nagyméretű hálózatokon a pozitív dinamikus rendszerek és valószínűségelméleti módszerek alkalmazásával

Péter Tamás*, Lakatos István**, Szauder Ferenc**, Szabó Krisztián***

BME*, Széchenyi István Egyetem**, MTA SZTAKI***

(e-mail: peter.tamas@mail.bme.hu; lakatos@sze.hu; szauder@sze.hu; szabo.krisztian@sztaki.mta.hu ;)

Abstract: Az anyag a matematikai modellezést, biztonság elemzést és diagnosztikai módszerek fejlesztését mutatja be. Célja egy új, akkreditált hibrid és elektromos hajtású járműveket vizsgáló, minősítő és kutató laboratórium felállítása. A feladat igen komplex. Kiemelt figyelmet fordít a környezetre és a biztonság megfelelő megközelítésére.

Kulcsszavak: gépjárművek vizsgálata, diagnosztikai eljárások, nemlineáris modellezési módszerek, biztonság és komplex közlekedési környezet figyelembe vétele, laborfejlesztések.

1. BEVEZETÉS

Ez az anyag egy elméleti kutatási megközelítést mutat be, amely komplex matematikai modellezést alkalmaz. Célja a közúti hálózatokon az autóbalesetek szempontjából a nagy kockázatot hordozó kritikus pontok felismerése és meghatározása. Az eredmények felhasználhatók a szükséges *preventív* intézkedések meghatározásánál, ill. ugyanilyen célból új, intelligens irányítások megvalósítására a felismert kritikus helyeken. Fontos további felhasználási terület egy olyan nagyméretű adatbázis létrehozása, amelynél elérhető a helytől és időtől, időjárástól és szezonálitástól függő hálózati baleseti kockázati értékek. Ez különösen hasznos lehet az egyre inkább elterjedő autonóm járművek automatikus információval történő ellátásánál is, amikor velük együtt egy időben nagyszámú nem autonóm járművek is közlekednek a hálózaton.

A baleseti eseményeknek két forrása van: Egyik a vezető - jármű hiba, (a járművek hibája országonként eltérő mértékű, de általában egy nagyságrenddel kisebb, mint a vezetők által elkövetett hibák száma), a másik a hálózat és környezetének állapota. (Pl. Járművezetőt elvakító napsugarak, fő ok a felkelő illetve lemenő nap fénye. Nagy-Britanniában évente átlagosan 3900 közúti balesetet okoznak, köztük 28 halálos kimenetelű. Kátyúk. A rossz minőségű vidéki utak. Kedvezőtlen időjárás, eső, köd, hó, jégeső. A közúti halálos baleseteknek kb. 10 %-át a csúszós utak okozzák.)

Sajnos, a baleseti eseményt a vezetők bármikor és bárhol nagyon különböző módon is elő tudják idézni. (Pl. a járművezető rosszul reagál és elveszíti uralmát a jármű felett. Nagy-britanniai halálos balesetek 65%-a következik be emiatt. Gyorshajtás. Mobiltelefon. Az utasok, gyerekek elterelik a vezető figyelmét és ez a mobiltelefonos balesetek számát is meghaladja. Vezetés közbeni elalvás, különösen a hajnali órákban. Ez a baleset a 30 évesnél fiatalabb férfiak körében tízszer gyakoribb, mint a hasonló korú nőknél. Tússzentés, nagyon komoly veszélyforrás, mert a vezetők

automatikusan becsukják a szemüket és egy átlagos autópálya-tempónál akár 15-20 métert is haladhatnak csukott szemmel, közben bármi megtörténhet.)

Általános esetben a baleset eseményt a vezetői-jármű hiba (E_0) esemény és az utazás során, a hálózati pont és környezetében fellépő állapotromlási események (E_1, E_2, \dots, E_N) együtt idézik elő. Végül, egy adott szakaszon az együttes baleseti valószínűségből származó baleseti kockázatot nagymértékben befolyásolja az ott áramló járművek sűrűsége (q) és sebessége (v).

A számunkra fontos vizsgálati pontoknál viszont a baleseti kockázatot az adott keresztmetszeten időegység alatt átáramló járműmennyiség, ami befolyásolja, $q = qv$.

2. SAJÁT KUTATÁSI IRÁNYOK

A kutatásaink felölelik a járművekkel kapcsolatos komplex dinamikai- környezeti- forgalmi hazásokat M. Maghrour Zefreh, Á. Török (2016), H. Gaddam, A. Chinthireddy, K. Rao (2016) és ennek modellezési, mérési és újlevű laboratóriumi analízisét is, Péter, T. and Lakatos I. (2017). Modellek vonatkozásában, egyaránt vizsgáljuk a hagyományos nemlineáris hálózat dinamikát.

Az IDM dinamikával foglalkoztak O. Derbel, T. Peter, H. Zebiri, B. Mourllion and M. Basset (2012), (2013) és ezeket a közlekedési folyamatok környezetében is vizsgálták T. Peter, and M. Basset (2009), Peter, T., and Bokor, J. (2010), (2011), Peter, T. (2012). A hálózatok dinamikájának tárgyalására 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 értékészletet 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). Az általunk kidolgozott modell-környezet (annak ellenére, hogy makroszkopikus modellt építettünk), alkalmas arra is, hogy a valós közlekedési folyamatokat, forgalomirányító lámpákat, torlódásokat, parkolókat, stb. figyelembe véve, egy tetszőleges kiindulási időpontból a hálózat bármely más elérhető pontjába, a valóságos eljutási folyamatot is leírja, T. Peter, and M. Basset (2009). Ez az eljárás, a hálózaton járműcsoportok optimális átvezetésén és útvonalajánlásokon kívül, más területeken is fontos. Például, az intelligens járművek vizsgálata területén, továbbá a gépjárművek dinamikai analízise, környezeti terhelése vizsgálatok, I. Lakatos (2001), (2007), (2015) területén is, mivel különböző időpontokban és helyeken, nagyszámú járműre elvégezhető a rendkívül gyors számítások! Az összetett, nemlineáris dinamikus modellezéséhez számítógépes algebrai módszert alkalmazó intelligens modell-alkotó rendszert fejlesztettünk ki. Ennek felhasználásával, az emberi oldalon fellépő modell-tervezés időszükségletét minimalizáljuk. A rendelkezésre álló hálózati IT eszközök és a járművekbe beépített számos elektronikus és elektromechanikai alkatrésznek köszönhetően a komplexitásra kitűzött célok java része ma már elérhető, T. Brenac, C. Perrin, B. Canu, J. Magnin (2015).

3. AZ INNOVATÍV MEGKÖZELÍTÉS

Az általunk alkalmazott nagyméretű hálózati modellből korábbi validálások alapján, kinyerhetők a haladási profilok, amelyek a valóságnak megfelelően bonyolultak, összetettek, gyorsulások, lassulások és gyakori megállások sorozatából állnak. A valóságos folyamatok ilyenek, amelyek eltérnek a hagyományos laboratóriumokban a görgős fékpádon alkalmazottaktól. A projektben a valós járműdinamikai-forgalmi folyamatokat és a környezetterhelés optimalizálását is figyelembe véve dolgozunk ki új diagnosztikai és egyben szabályozási módszereket is. A jellemző sebességprofilok figyelembe vételével és a valós forgalomban elhaladó járművek sűrűségének azonosításával határozzuk meg a várható baleseti kockázatot. A módszereket mérések sorozatával validáljuk. Fontosak a folyamatban lévő kutatások és fejlesztések az alábbi területeken: Diagnosztikai rendszerek tervezése. A hibrid-elektromos járművekre valóságos hatásainak gyakorlati vizsgálata. A biztonságos közlekedési hálózati megvalósítások modellezési eljárásainak kutatásai. Új közlekedési hálózat-fejlesztési tervezési módszerek kialakítása. Új mérőrendszerek és technológiák kifejlesztése hibrid-elektromos járművek vizsgálatához.

4. A BIZTONSÁG ÉS BALESET STATIKUS ÉS DINAMIKUS KOMPLEX KÖRNYEZETANALÍZISE

A közlekedési folyamatokat alapvetően befolyásolja a környezet és annak változása. Minden járműtípus esetén meghatározó a biztonság és baleset szempontjából a környezetanalízis. Az általunk indított vizsgálatok körében megkülönböztettünk statikus és dinamikus vizsgálatokat. A mintázat analízist, a statikus és a kvázi baleset analízis, a dinamikus analízis. A baleseti eseményekre leggyakrabban alkalmazott kapcsolati jellemző, a valószínűségi változók

függőségének vizsgálata. A kapcsolatok szorosságát méri az „r” korrelációs együttható.

Használata igen hasznos olyan esetekben, amikor a vizsgált két valószínűségi változó független ekkor 0 a kapcsolatot jellemző szám, vagy, ha lineáris kapcsolat van közöttük, ekkor a számítás +1 illetve -1 értéket ad. A vizsgálatoknál, a pontos meghatározás r = 0 esetén az, hogy a két valószínűségi változó korrelálatlan - ami önmagában még nem jelent függetlenséget.

Ha a két valószínűségi változó együttes eloszlása normális, akkor az „r” korrelációs együttható a két valószínűségi változó függőségének elméleti szempontból kifogástalan mérőszáma. Ekkor ugyanis a két valószínűségi változó között más függvénykapcsolat a lineárison kívül nem lehetséges, továbbá r=0 akkor és csak akkor, ha a két valószínűségi változó független.

$$r = \begin{matrix} \cdot & \cdot & y_j & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_i & \cdot & r_{x_i y_j} & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix} \quad r_{x_i y_j} = \frac{M[x_i y_j] - M[x_i]M[y_j]}{D(x_i)D(y_j)}$$

$$-1 \leq r_{x_i y_j} \leq 1$$

1. ábra az n db. valószínűségi változóra vonatkozó korrelációs mátrix szimmetrikus pozitív definit mátrix

A helyzetértékelések és döntéshozatalok megkövetelik, hogy a közlekedési balesetek osztályozása során, információkat kapjunk arról, hogy az egyes baleseti osztályokba tartozó események száma, időszakonkénti gyakoriságuk egymáshoz viszonyítva hogyan változik a vizsgált időszakban? A korrelációanalízis-technika segít abban, hogy bizonyos azonos irányban, vagy ellentétes irányban fellépő tendenciák felerősödését felismerhessük, nyomon követhessük, és ezeket számszerűsíthessük is. Segíthet abban is, hogy a folyamatoknál mindig jelen lévő és az események kimenetelét befolyásoló feltételek erősségét is számszerűsíthessük. Ez segíthet a helyes intézkedések meghozatalában, amelyek egyrészt, a nem kívánt hatásokat gyöngítik, másrészt a biztonság növelését eredményező arányos feltételeket is megteremtik.

Ezen vizsgálatok alapján, például jól megfigyelhető, hogy éves időszakokban, különböző osztályba sorolható balesetek változása azonos, vagy eltérő tendenciát mutat –e és ez a kapcsolat mennyire mondható erősnek? Az alábbi két táblázat Magyarországon éves felvett rendőrségi adatokat szemléltet. Ahol: összes balesetek (Ö) tendenciája és ezen belül, az összes kerékpáros balesetek (K) és az összes gyalogos balesetek (G) változását szemlélteti és ezek között szoros korrelációt mutat. Ezt szemlélteti a 2013. és 2014. évekre az r korrelációs együtthatók táblázata:

	r _{ÖK}	r _{ÖG}	r _{GK}
2013	0,8903795	0,9801553	0,8202906
2014.	0,8284057	0,969174	0,7290137

1. Táblázat: összes baleseti r korrelációs táblázat 2013.- 2014 évre

Minden csoport között erős a pozitív korrelációs összefüggés. A tendencia csupán az, hogy 2014-re ez egy igen kis mértékben gyengült a kapcsolat minden csoport között.

Az alábbi vizsgálatok az éves időszakokban, az összes halálos balesetek (Γ_{H}) tendenciája és ezen belül az összes halálos kerékpáros balesetek (K_{H}) és az összes halálos gyalogos balesetek (G_{H}), korrelációjára vonatkoznak. Ez mutatja a 2013. és 2014. évekre az r korrelációs együtthatók táblázata:

	$\Gamma_{\text{ÖH,KH}}$	$\Gamma_{\text{ÖH,GH}}$
2013	0,6495708	0,6230601
2014.	0,645326	0,9209152

2. Táblázat: halálos baleseti r korrelációs táblázata 2013.-2014. évre

Megállapítható, hogy az összes halálos balesetek és az összes halálos kerékpáros balesetek közötti pozitív korrelációs kapcsolat a 2013 és 2014 évben nem változott. Az összes halálos balesetek és az összes halálos gyalogos balesetek közötti pozitív korrelációs kapcsolat a 2013 lényegében azonos, és 2014 évben a gyalogos balesetek nagyon erős korrelációt mutatnak az összes balesetekkel.

5. MINTÁZAT ANALÍZIS: A STATIKUS ANALÍZISEK FEJLESZTÉSE

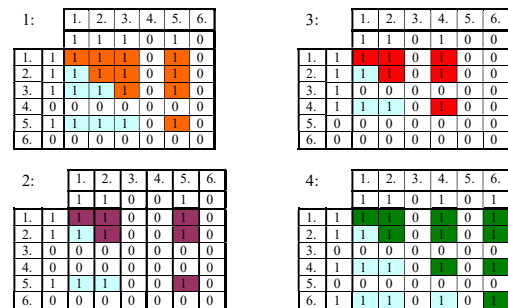
Ezek a közúti balesetek további átfogó analízise mellett, új kutatásokat jelenthetnek a baleseti mérések automatizálása és az egzakt fizikai jellemzők rögzítésére. A pontosabb összefüggések feltárása és a baleseti események minimalizálása érdekében, fontosnak tartjuk az alábbiakat kiemelni:

A baleseti jegyzőkönyvek esetében célszerű a minél egzaktabb, fizikailag mérhető jellemzők felvételét szorgalmazni és ezek rekonstruálható számítását biztosítani. Szükséges a mérések fejlesztése és automatizálása. Az eredmények megfelelő adatbankba, infokommunikációs eszközökkel történő automatikus elküldése. A gyors helyszíni intézkedés biztosítása és a minél kevesebb helyszíni adminisztratív munka végzése. Különösen fontos az együttes hatások egzakt elemzése, mivel az egy időben fellépő különböző negatív hatások felerősítik a baleset bekövetkezésének valószínűségét. A fentiek alapján fel kell tárnunk a hálózat azon tér-, és időbeni pontjait, ahol nagy valószínűséggel lépnek fel az együttes negatív hatások! Ezeket folyamatosan kell rögzíteni a hálózatot jellemző adatbázisban és az elhárításukat is folyamatosan kell elvégezni. A fentiek összesített eredménye egy zárt ciklusú optimális irányítást valósít meg. Ez egyrészt, javítja a komplex közlekedési rendszer paramétereit, másrészt dinamikusan (időben) oly módon szabályoz, hogy folyamatosan növeli a közlekedés biztonságát. Kiemelt cél, a jövőbeni bekövetkezések becslése, a környezet tudományos analízise, a kedvezőtlen együttes események bekövetkezésének minimalizálása.

A matematikai modellezés egyrészt statikus számítási módszerek fejlesztését öleli fel, másrészt a dinamikus hatások analízisét. Statikus analízisek fejlesztése elsősorban a környezeti hatások komplex vizsgálatára szolgálhatnak. A

környezeti jellemzők analízise, az általunk javasolt $K[k_{ij}]$ Incidencia mátrix bevezetésével végezhető el. Ennek jelentése a környezeti jellemzők illeszkedése (kapcsolata) adott baleseti helyen. A mátrix elemek: $k_{ij}=I*J$; ($i,j=1,2,\dots,n$; n a figyelembe vett környezeti paraméterek száma, „ I ” az i -ik állapota, „ J ” a j -ik állapota. Ezek bináris változók.) Az I és J környezeti állapotjellemzője 1, ha fennáll az adott környezeti jellemző és 0, ha nem. Egyszerű pl. szemléltet néhány környezeti jellemző analízisét, amely egy lehetséges helyszínen (útkanyar és kereszteződés fellépésénél) három feltételezett baleset esetén került felvételre.

1. Útkanyar (mindhárom esetben)
2. Útkereszteződés (mindhárom esetben)
3. Jegesedés (első esetben)
4. Köd (harmadik esetben)
5. Esti óra (első és második esetben)
6. Rossz útminőség



2. ábra Incidencia mátrixrok alapján az egyes baleseti mintázatok

A példa négy bekövetkezett balesetre vonatkozik és a környezeti jellemzők együttes előfordulását és kapcsolatát mutatja be az egyes eseteknél. A felvett négy mátrix, a négy baleset környezeti mintázatát adja meg. Fentiekből az a következtetés vonható le, hogy ilyen környezeti mintázatoknál következtek be balesetek.

Egy helyen természetesen különböző balesetek és mintázatok is keletkezhet, a környezeti jellemzők variabilitása miatt.

Minden csomópontnak, útszakasznak van egy baleseti mintázati gyakorisága, eloszlása és a kimenetek alapján súlyozott eloszlása is. A balesetek megelőzésének kutatása szempontjából fontos meghatározni a kritikus mintázatok halmazát. Mivel ezek a mintázatok, mind-mind megtörtént balesethez tartoznak, együttes struktúrájuk nagyon fontos információkat hordozhat magában.

Ezek ismerete alapján a közlekedési hálózati gráf, a környezeti paraméterek szempontjából vizsgálható. Azon végighaladva, ha bárhol kritikus mintázat fellelhető, akkor kimondható, hogy a vizsgálatok szempontjából, az adott hely balesetveszélyesnek tekinthető. A mátrix elemek kapcsolatainak eloszlásának vizsgálata, alapjelentőségű lehet a baleset megelőzésben. Vizsgálandók az egyes környezeti paraméterek hazása a mintázatokra és definiálandó a mintázatok távolsága, ez alapján a köztük lévő távolságok és korrelációk is. Ezek ismerete és ezekből levonandó következmények (pl. ITS, változtatható jelzésképű táblák alkalmazása) csökkenthetik a jövőbeni balesetek számát.

6. KVÁZI BALESETEK: DINAMIKUS ANALÍZIS FEJLESZTÉSE

Kiemeljük a kvázi balesetek detektálásának fontosságát a trajektóriák mentén, mely analízist tovább fejlesztve, automatikussá tehető a felderítés.

Kvázi baleset olyan körülmény, amely során konkrét szituációk ill., fizikai változások következtek be az út – környezet, vagy járművek tekintetében, de baleset még nem következett be. Ez nagyobb számú, mint a valós balesetek bekövetkezése és a veszély jelzését, a felderítést teszi lehetővé. Hogy ismerhető fel a baleseti veszély? Hol és miért következik be nagy valószínűséggel? A balesetek megelőzésének az a legeredményesebb módja, ha a baleseteket előidéző okok még azok bekövetkezése előtt megszüntetésre kerülnek. Ennek érdekében, rendszerszemléletű baleset-megelőző folyamat-analizátor építhető fel a rendszerbe. A naprakész egységes közlekedési hálózati informatikai adatbázis és erre rászervezett szabályozott szervezeti kapcsolatrendszer számos előnyt és új lehetőségeket biztosít. Fejlesztésénél nagyon fontos az infokommunikációs eszközök alkalmazása és az információhoz való gyors és egyszerű hozzáférés is.

A klasszikus adatszolgáltatási körből hiányoznak azok az értékes információk, amelyek, az úgynevezett kvázi baleseteket jelentő körülményeket tartalmazó adatok.

Ez a vizsgálat integrálja a közlekedési folyamatokat és hálózatokon közlekedő járművek dinamikai folyamainak vizsgálatát. Ily módon, a valós közlekedési folyamatok figyelembevételével, egyesített dinamikus rendszerben történik a komplex analízis, a sztochasztikus dinamikus számításra alkalmas 3D-s hibrid elektromos járműveknél és a hagyományos járműveknél is, a hozzájuk tartozó emissziós blokkok alkalmazásával is. A környezetterhelés számításánál a kibocsátásokat a valós forgalom szimulációval is vizsgáljuk.

7. DINAMIKUS ANALÍZIS FEJLESZTÉSE

Komplex dinamikus hatások analízisét tudjuk megvalósítani, szimulátor fejlesztésével. Ehhez rendelkezésre állnak az általunk fejlesztett közlekedési hálózati folyamat-modellek. A szimulátor és a valós forgalmi mérések összekapcsolása objektív feltételek teremt az alábbi analíziseknél:

- Hálózati folyamatok megfigyelése
- Kritikus helyek detektálása
- Környezeti állapotok bekövetkezésének együttes valószínűségének analízise
- Forgalomban meglévő biztonságkritikai hatások analízise, Humán adottságok analízise

7.1 Közlekedési model az analízishez

A tárgyalt hálózati modell az u.n. szűkített modellek körébe tartozik, Péter, T. (2012), Péter, T., Szabó, K. (2012). Ekkor egy tetszőleges G zárt görbe által körülkerített belső hálózatot vizsgálunk. A belső hálózat n szektorból áll, ezek állapotjellemzői az x_1, x_2, \dots, x_n , járműsűrűségek, amelyeket

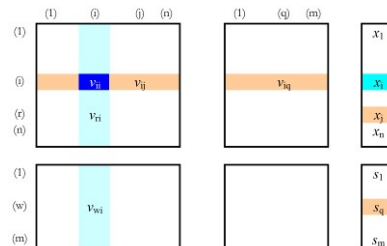
számít a modell. A G perem mentén azok az s_1, s_2, \dots, s_m , sűrűségű külső (input és output) szektorok vannak, amelyek közvetlen kapcsolatokkal rendelkeznek valamely belső szektorral és ez utóbbiak állapotát mérés alapján ismertnek tekintjük. A modellünkben $0 \leq x_i(t) \leq 1$ és $0 \leq s_j(t) \leq 1$ normált járműsűrűség állapotjellemzőket használunk ($i=1, \dots, n$; $j=1, \dots, m$). Ez alkalmazható a parkolók esetében is, mivel a parkolók is általánosított szakaszok a modellben. 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. A modellünk differenciálegyenlet-rendszere az alábbi:

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

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 ($\forall l_i > 0$, $i=1, 2, \dots, n$), $K_{11} \in \mathfrak{R}^{n \times n}$, $K_{12} \in \mathfrak{R}^{n \times m}$.

A hálózat működését a kapcsolati hipermátrix foglalja egy rendszerbe. A kapcsolati hipermátrix egyrészt megadja bármely szektor esetében, hogy milyen más szektorokkal áll átadási kapcsolatban, másrészt a kapcsolati mátrixot tartalmazó (1) differenciálegyenlet-rendszer írja le a hálózat minden szektorának a működését, az-az a teljes hálózat működését.

A belső tartomány kapcsolatainál minden típusú kapcsolat fellép, kivéve a külső-külső kapcsolatokat. A belső szektor működését tehát, három kapcsolati mátrix: $K_{11} \in \mathfrak{R}^{n \times n}$, $K_{12} \in \mathfrak{R}^{n \times m}$ és $K_{21} \in \mathfrak{R}^{m \times n}$ írja le, amelyekből épül fel, a $K_B \in \mathfrak{R}^{(n+m) \times (n+m)}$ kapcsolati hipermátrix:



3. ábra: K_B , i -ik belső szektor kapcsolatai mátrixai

A járműsűrűség meghatározása az i -ik belső szektorban, a fenti (1) folytonos modell alapján történik a következő módon:

$$\dot{x}_i(t) = \frac{1}{l_i} \left[\sum_{j=1; j \neq i}^n v_{ij} x_j(t) + \sum_{q=1}^m v_{iq} s_q(t) - \left(\sum_{r=1; r \neq i}^n v_{ri} + \sum_{w=1}^m v_{wi} \right) x_i(t) \right]$$

Ahol:

$$v_{ij} = S(x_i(t)) \cdot V(x_i(t), x_j(t), \underline{e}_i, \underline{e}_j) \cdot E(x_j(t)) \cdot \alpha_{ij}(x(t), t) \cdot \beta_{ij}(x(t), t) \cdot \gamma_{ij}(x(t), t) \cdot u_{ij}(t)$$

$$v_{iq} = S(x_i(t)) \cdot V(x_i(t), s_q(t), \underline{e}_i, \underline{e}_q) \cdot E(s_q(t)) \cdot \alpha_{iq}(x(t), t) \cdot \beta_{iq}(x(t), t) \cdot \gamma_{iq}(x(t), t) \cdot u_{iq}(t)$$

$$v_{ri} = S(x_r(t)) \cdot V(x_r(t), x_i(t), \underline{e}_r, \underline{e}_i) \cdot E(x_i(t)) \cdot \alpha_{ri}(x(t), t) \cdot \beta_{ri}(x(t), t) \cdot \gamma_{ri}(x(t), t) \cdot u_{ri}(t)$$

$$v_{wi} = S(s_w(t)) \cdot V(s_w(t), x_i(t), \underline{e}_w, \underline{e}_i) \cdot E(x_i(t)) \cdot \alpha_{wi}(x(t), t) \cdot \beta_{wi}(x(t), t) \cdot \gamma_{wi}(x(t), t) \cdot u_{wi}(t)$$

az alábbi összefüggések teljesülése mellett:

$$\sum_{r=1, (r \neq i)}^n \alpha_{ri} + \sum_{w=1}^m \alpha_{wi} = 1$$

$$v_{ii} = - \left[\sum_{r=1, (r \neq i)}^n v_{ri} + \sum_{w=1}^m v_{wi} \right]$$

A kapcsolatot jellemző függvények az alábbi jelentéssel bírnak:

- Ha a j-ik szakasz több i szakaszra dolgozik, akkor az egyes i szakaszoknál $0 < \alpha_{ij} < 1$ elosztási arányt (rátát) alkalmazunk, a hipermátrix j - oszlopában $\sum_{(j)} \alpha_{ij} = 1$ teljesül. (Mivel j dolgozhat külső szakaszokra is.)
- Ha a kapcsolatot zavarják, pl. keresztező járművek, gyalogosok vagy baleset, akkor β_{ij} zavarási tényező $0 < \beta_{ij} < 1$ értéket vesz fel.
- Ha a kapcsolatot segítik, pl. másik irányt keresztező járművek vagy rendőr, akkor β_{ij} rásegítési tényező $1 < \beta_{ij}$ értéket vesz fel.
- Ha egyszerre van jelen elosztás és zavarás, (vagy rásegítés) akkor $\alpha_{ij} \beta_{ij}$ szorzat lép fel.
- Az α_{ij} és β_{ij} rövid időtartamra általában konstans értékek. α_{ij} általános esetben időtől függő $\alpha_{ij} = \alpha_{ij}(t)$, vagy időtől és állapottól függő $\alpha_{ij} = \alpha_{ij}(\underline{x}(t), t)$ függvény. β_{ij} általános esetben szintén időtől függő $\beta_{ij} = \beta_{ij}(t)$, vagy időtől és állapottól függ $\beta_{ij} = \beta_{ij}(\underline{x}(t), t)$.
- A parkoló és útszakasz, valamint párhuzamos sávok kapcsolatát $\gamma_{ij} = \gamma_{ij}(t)$, intenzitás függvényvel adjuk meg, $0 \leq \gamma_{ij}(t)$.
- $0 \leq u_{ij}(t) \leq 1$ kapcsolási függvény, az egyes szakaszok átadásánál működő forgalmi lámpák hatását veszi figyelembe. Elméletben az értéke az 1 vagy 0 értékeket veszi fel a lámpa állapota szerint. A modellben, a valós reakciókésedelem időt is figyelembe véve, t-szerint folytonosan differenciálható lámpa függvényeket alkalmazunk.

A tárgyalt modellt alkalmazzuk nagyméretű közúti közlekedési hálózatok modellezésére – pl. Győr Város Forgalmi Modell.

A sebesség-sűrűség kapcsolatának leírására az irodalom számos függvénytípust ajánl fel, pl. Greenshields (1935) (lineáris), vagy a Greenberg (1959) (logaritmikuss) forma. További néhány függvénytípust ismertet Kövesné Gilicze É. és Debreczeni G. (2003). Ezek a függvények mérésekből adódó sztochasztikus kapcsolatok, amelyekben szereplő V_{Max} , és további konstansok regressziós módszerek eredményeként származtatott értékek. Egy szakaszon a korábban bevezetett x változó jelöli a járműsűrűséget és $v(x)$ a szakaszon haladó járművek x értéktől függő várható átlagsebességét.

A klasszikus irodalom nem foglalkozik a környezeti vektor megadásával, viszont egy szakaszon. A V_{Max} , illetve a függvény lefutásának változtatása, megfelelő környezeti

paraméterezéssel további tényezők vizsgálatát is lehetővé teszi, így pl. időjárást, látási viszonyokat, út minőségét, út szélességét is. Tehát, a sebességet nem csak az x járműsűrűség determinálja, hanem a kapcsolati mátrixban fent említett, e környezeti paramétervektorral figyelembe vett különböző környezeti, szezonális, stb. tényezők is: $V=v(x, \underline{e})$. Az alábbiakban röviden tekintsünk egy, a gyakorlatban jól alkalmazható és általunk felírt $V=v(x, \underline{e})$ függvényt:

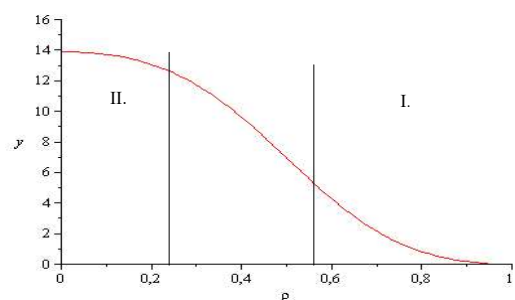
$$v(x, \underline{e}) = \frac{e_4 \cdot V_{Max}}{e_3 + e_2 \cdot \left(\frac{x}{1 - x^{e_5}} \right)^{e_1}}$$

Ebben az esetben az e paramétervektor 5 paramétert tartalmaz: $\underline{e} = [e_1, e_2, e_3, e_4, e_5]$

Az alábbi 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 $\underline{e} = [e_1, e_2, e_3, e_4, e_5]$ paramétervektor koordinátáinak meghatározása.

e_i	Paraméter jelentése	Kedvezőtlen eseteknél	Kedvező eseteknél
e_1	Út minőség	Rossz: $e_1=0.1 - 0.3$	Jó: $e_1=3 - 4$
e_2	Kanyargós út	Sok kanyar: $e_2=3 - 4$	Kevés kanyar: $e_2=0.1-0.2$
e_3	Csúszós út	Rossz, csúszós: $e_3=1.2 - 4$	Nincs csúszás: $e_3 < 1$
e_4	Biztonságerzet, látási viszonyok	Rossz: $e_4=0.5 - 0.7$	Jó: $e_4 > 1$
e_5	Út szélessége	Keskeny: $e_5=0.1 - 0.2$	Széles: $e_5 > 4$

3. Táblázat: e paramétervektor koordinátáinak bemutatására

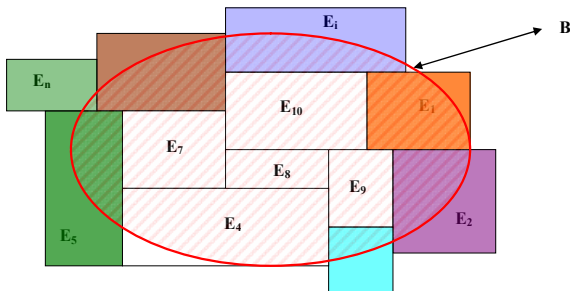


4. ábra $v(x)$ sebesség-sűrűség függvény $e_1=2$; $e_2=1; e_3=1; e_4=1; e_5=1$ paramétereknél

8. A BALESETI VALÓSZÍNŰSÉGEK ÉS A FORGALMI ADATOK ÖSSZEKAPCSOLÁSA A HÁLÓZATI KOCKÁZATOK MEGHATÁROZÁSÁRA

8.1 A baleset bekövetkezésének feltételes valószínűsége a modellben

Egy trajektória pontjain vizsgáljuk a balesetek bekövetkezését. Ha valamely pontjánál bekövetkezett baleset, jelölje B ezt az eseményt. Ennél a pontnál figyelembe kell venni a balesetet előidéző összes lehetséges eseményt a helyszínen, ezeket jelölje: $E_0, E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_N$. Ekkor, bármelyik feltárt E_i eseményhez (pl. úthiba, kanyar, jegesedés, stb.) kapcsolható egy-egy, baleset bekövetkezési valószínűség a $P(B|E_i)$ feltételes valószínűség figyelembevételével: $P(B|E_i) = P(B \cap E_i) / P(E_i)$.



5. ábra: a balesetet előidéző több lehetséges esemény figyelembe vétele

Jelölje röviden a feltételes eseményeket $A_i = B \cap E_i$ ($i=0,1,2, \dots, N$). Ekkor ismert, hogy tetszőleges $A_0, A_1, A_2, \dots, A_N$ eseményekre fennáll az alábbi egyenlőtlenség:

$$P(A_0 + A_1 + A_2 + \dots + A_N) \leq P(A_0) + P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_N)$$

Ez alapján, ha a $P(B|E_i)$, ($i=0,1,2, \dots, N$) feltételes valószínűségek összegéve közelítjük az adott helyszínen a baleset bekövetkezésének valószínűségét, akkor az ezzel meghatározott kockázat nem fogja alul értékelni a veszélyt, ezért biztonságosan alkalmazható.

8.2 A hálózati dinamika hatása a kockázatra

Szektorok meghatározásakor, a hálózati sávokat olyan részekre bontottuk, amely esetén, az egyes szektorokon belül biztosított a homogenitás. Ez alapján a szektoron belül, annak minden pontjába azonos környezeti és forgalmi körülményeket tételezhetünk fel és az egyes a szektorra esetén biztosított az egységes matematikai modellezés. A szektor kezdeti és végpontjának meghatározásakor **figyelembe vesszük a hálózat geometriáját**, kereszteződéseket, rádolgozási, ill. kilépési pontokat, új sáv kezdeteket, ill. sávok megszűnési pontjait.

Az osztópontok finomításakor **figyelembe vettük a forgalmat befolyásoló létesítményeket**, (jelzéseket, gyalogátkelőhelyeket, sávszűkítéseket, sebesség korlátozásokat) és a **környezeti hatásokat** (útminőség megváltozása, útszélesség megváltozása, domborzat megváltozása, stb.)

Dinamikus modellünk alapján, lehetőségünk van tetszőleges időpontban meghatározni a hálózat szektorain a **járműsűrűségeket és a járműsebességeket**.

Mindkettő egyaránt befolyásolja a szektoron a balesetek kockázatát. A modellezés minden valós állapotot figyelembe vesz. Ki kell viszont emelni, hogy a forgalmi vizsgálatok szempontjából két jellemző baleset típust különböztethetünk meg:

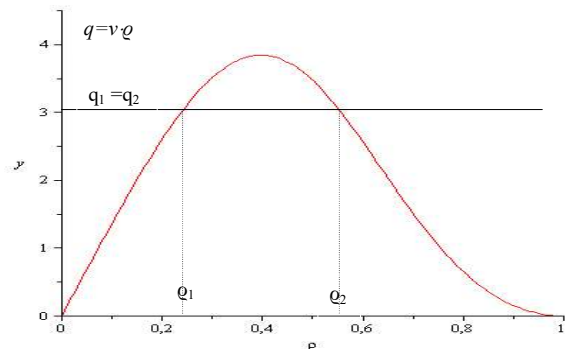
I. típusú, nagy járműsűrűségű balesetek: A gyakorlatban az érvényesül, hogy minél nagyobb a járműsűrűség, annál nagyobb lehet a balesetek gyakorisága, mivel ugyanolyan vezetői képesség-eloszlás esetén nagyobb számban fordul elő a gyengébb vezető, ráadásul a torlódás miatt nagyobb a vezetők idegi terhelése is. A nagy sűrűség miatt kisebb a sebesség, ezért ilyenkor inkább az enyhébb balesetek a jellemzőek. Ábra A, I.-el jelölt sűrűség tartomány.

II. típusú, nagy sebességű balesetek: Amikor nagyobbak a járműsebességek, akkor ugyan kisebbek a járműsűrűségek, de annál nagyobb kockázatot jelent a reakció késedelem idő, a figyelmetlenség és a környezeti paraméterek helytelen értékelése. Ez szintén növeli a balesetek valószínűségét, ráadásul ilyenkor elsősorban a súlyosabb balesetek a jellemzőek. Ábra A, II.-el jelölt sűrűség tartomány.

Mivel ebben az esetben egy trajektóriánál egy útszelvényt, forgalom szempontjából egy keresztmetszetet vizsgálunk, arra keressük a választ, hogy ott hogyan hat mindez a baleseti számok növekedésére, ill. a kockázata?

A keresztmetszetenél ekkor, a forgalom nagyságát q , az ott időegység alatt áthaladó járműszám határozza meg. Egy közép esttől eltérő esetekben lehet nagy sűrűségnél (Q_2) és egy kisebb sűrűségnél (Q_1) is ugyanakkora a forgalom ($q_1 = q_2$). Ábra B, tehát pusztán ennek ismerete bizonytalanságot hordozna magában. Esetünkben a modell és a szimuláció mindig egyértelműen meghatározza a járműsűrűségeket, így módon a hozzá tartozó sebességeket is, tehát a kockázatok is egyértelműen számíthatók.

Összefoglalva: a matematikai modell az úthossz paraméterekhez tartozó útszelvényekhez, egyértelműen rendel hozzá dinamikus baleseti kockázatokat, amelyeket a becsült baleseti valószínűségek és a számított keresztmetszeti forgalom szorzata határoz meg. Ez a korábbiaknál sokkal átfogóbban minősíti az utakat, és hatékony biztonsági intézkedéseket vonhat maga után, a forgalomtól a helyszínektől a környezettől az időjárástól és a szezonálisoktól függően.



6. ábra: a forgalom a jármű sűrűség függvényében

9. KONKLÚZIO

Az alkalmazott dinamikus hálózati modell a kutatásainkban, a szűkített hálózati forgalmi modellt alkalmazza Peter, T. (2012). A városi trajektórák menti környezetterhelés analízisére gyorsított módszerek kifejlesztésére és validálása nyílik mód. Az általunk alkalmazott nagyméretű hálózati modellből korábbi validálások alapján, kinyerhetők a haladási profilok, amelyek a valóságnak megfelelően bonyolultak, összetettek, gyorsulások, lassulások és gyakori megállások sorozatából állnak.

Az innovatív megoldások meghatározása a hálózati irányítás területén az optimális közlekedési szolgáltatások biztosítását, valamint a biztonsági alkalmazásokra és a veszélyre történő figyelmeztetéseket is szolgálják. Az általunk alkalmazott megközelítések, kutatási módszerek és fejlesztési tevékenységek a bonyolult városi közlekedési hálózatokon jelentkező komplex szabályozási problémák új megoldásaiban is előre kívánnak lépni és segíteni. A naprakész egységes közlekedési hálózati informatikai adatbázis és erre rászervezett szabályozott szervezeti kapcsolatrendszer meghatározása számos előnyt és új lehetőségeket biztosít. Fejlesztésénél nagyon fontos az információhoz való gyors és egyszerű hozzáférés.

Az újonnan kialakítandó rendszernél alapvető szempont, a már működő rendszerek tapasztalatainak felhasználása is, pl., European Transport Information System. Fontos az elektromos és hibridelektromos meghajtású járművek esetében a modellezés és a laboratóriumi mérések kapcsolatának feltárása. Az elkészítendő hálózati ITS, egy olyan variabilis hálózatot jelent, amely működése során egyszerre értékeli és veszi figyelembe az irányításnál a forgalmat, a környezetterhelést, a biztonságot és az energiatakarékos működést. Ugrásszerűen új minőséget és sebességet biztosít a számítási felhőn alapuló technológia és a fejlett GNSS alkalmazása a nagy volumenű adatfeldolgozásnál. A modern, nagy pontosságú dinamikus térképek közlekedési alkalmazásai, meghatározó jelentőségűek az új monitoring-rendszer, a szakértői-rendszer és a publikus tájékoztató rendszer működtetésénél. A projekt és a kapcsolódó kutatások H. Lazar, K. Rhouliami, D. Rahmani (2016) olyan új ipari diagnosztikai módszerek kidolgozását eredményezik, amelyek ki vannak terjesztve a biztonság hatás-analízisére is.

Az eszközök fejlesztése, nemzetközi tudományos kutatási és ipari partnereinkkel folytatott kooperációban valósul meg. Ezek az eredmények egyszerre gyakorolnak pozitív hatást az új diagnosztikai rendszer kifejlesztésre és a közúti-városi közlekedésre és a biztonságra is.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet mondunk az EFOP-3.6.1-16-2016-00017, "Nemzetköziesítés, oktatói, kutatói és hallgatói utánpótlás megteremtése, a tudás és technológiai transzfer fejlesztése, mint az intelligens szakosodás eszközei" a Széchenyi István Egyetemen projekt támogatásért.

Köszönetet mondunk az EFOP-3.6.2-16-2017-00016 "Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában" – projekt támogatásáért.

REFERENCES

- Ashton, W. D. (1966)** *The Theory of Road Traffic Flow*, Methu-hen and CO LTD, London.
- Bacciotti, A. (1983)** On the positive orthant controllability of two-dimensional bilinear systems, *Sys. Control Lett.*, 3: 53-55, 1983.
- Bastin, G. (1999)** *Stability and Stabilization of Nonlinear Systems*, volume 246 of *Lecture Notes in Control and Information Sciences*. Chapter Issues in Modeling and Control of Mass-balanced Systems 53-74 Springer Verlag Ben-Tal.
- T. Brenac, C. Perrin, B. Canu, J. Magnin (2015)**, A. Canu, Influence of Travelling Speed on the Risk of Injury Accident: a Matched Case-Control Study. *Period. Polytech. Transp. Eng.*, (43)3, 129-137, 2015. DOI: [10.3311/PPtr.7520](https://doi.org/10.3311/PPtr.7520)
- Boothby, W.M. (1982)** Some comments on positive orthant controllability of bilinear systems, *SIAM J. Control Optim.*, 20: 634-644, 1982.
- Caccetta, L. and Rumchev, V.G. (2000)** A survey of reachability and controllability for positive linear systems, *Annals of Operations Research*, vol. 98, pp 101-122, 2000
- Farina, L. and Rinaldi, S. (2000) *Positive Linear Systems Theory and Applications*. John Wiley & Sons, Inc.
- Coxson, P.G. and Shapiro, H. (1987)** Positive input reachability and controllability of positive systems, *Linear Algebra and its Applications* 94 (1987) 35-53.
- O. Derbel, T. Peter, H. Zebiri, B. Mourllion and M. Basset (2012)** Modified Intelligent Driver Model, *Periodica Polytechnica-Transportation Engineering* 40/2 (2012) 53-60. doi: [10.3311/pp.tr.2012-2.02](https://doi.org/10.3311/pp.tr.2012-2.02) web: <http://www.pp.bme.hu/> tr ISSN 1587-3811 (online version); ISSN 0303-7800 (paper version)
- O. Derbel, T. Peter, H. Zebiri, B. Mourllion and M. Basset (2013)** Modified Intelligent Driver Model for driver safety and traffic stability improvement, 7. IFAC Symposium Tokyo 2013 szept. 4-7. <http://www.sice.or.jp/IFAC-AAC2013/details.html>
Organized by: International Federation of Automatic Control, Technical Committee on Automotive Control (IFAC-TC7.1) pp, 734-739 132-ik anyag. Doi: SaB2.3
- Á. Dömötörfi, T. Péter, K. Szabó (2016)**, Mathematical Modeling of Automotive Supply Chain Networks. *Period. Polytech. Transp. Eng.*, (44)3, 181-186, 2016. DOI: [10.3311/PPtr.9544](https://doi.org/10.3311/PPtr.9544)
- Farina and Rinaldi (2000)** Farina, L., Rinaldi, S.: *Positive linear systems: Theory and applications*. New York: Wiley, 2000.
- H. Gaddam, A. Chinthireddy, K. Rao (2016)**, Comparison of Numerical Schemes for LWR Model under Heterogeneous Traffic Conditions.

- Period. Polytech. Transp. Eng., (44)3, 132-140, 2016.
DOI: [10.3311/PPtr.8297](https://doi.org/10.3311/PPtr.8297)
- 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.
- I. Lakatos (2001)**, Modern emission test of diesel engines in Europe In: Péter T (szerk.) Symposium on Euroconform Complex Retraining of Specialists in Road Transport. 460 p. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2001.06.09-2001.06.15. Budapest:BME,pp. 147-153.
- I. Lakatos (2007)**, Effect of valve timing on exhaust emission In: Anon (szerk.) 8th International Conference on Heat Engines and Environmental Protection. 2007. pp. 207-214. Konferencia helye, ideje: Balatonfüred, Magyarország, 2007.05.28-2007.05.30. (ISBN:978 963 420 907 2
- I. Lakatos (2015)**, Development of a New Method for Comparing the Cold Start- and the Idling Operation of Internal Combustion Engines. Period. Polytech. Transp. Eng., (43)4, 225-231, 2015. DOI: [10.3311/PPtr.8087](https://doi.org/10.3311/PPtr.8087)
- H. Lazar, K. Rhouلامي, D. Rahmani (2016)**, A Review Analysis of Optimal Velocity Models. Period. Polytech. Transp. Eng., (44)2, 123-131, 2016. DOI: [10.3311/PPtr.8753](https://doi.org/10.3311/PPtr.8753)
- Luenberger (1979)** Introduction to Dynamics Systems, Wiley, New York, 1979
- M. Maghrou Zefreh, Á. Török (2016)** Improving Traffic Flow Characteristics by Suppressing Shared Taxis Maneuvers. Period. Polytech. Transp. Eng., (44)2, 69-74, 2016. DOI: [10.3311/PPtr.8226](https://doi.org/10.3311/PPtr.8226)
- Péter, T. and Lakatos I. (2017.)** Hybrid model of vehicle and traffic for combined dynamic analysis, Int. J. Heavy Vehicle Systems, (ISSN: 1744-232X) 24: (2) pp. 1-14. (2017)
- Péter, T. (2012.)** 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., Szabó, K. (2012)** A new network model for the analysis of air traffic networks. In: Periodica Polytechnica-Transportation Engineering 40/1 (2012) 39-44. doi: 10.3311/pp.tr.2012-1.07 web: <http://www.pp.bme.hu/tr> ISSN 1587-3811 (online version); ISSN 0303-7800 (paper version)
- T. Peter, and M. Basset (2009)**, 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.
- Peter T, and Bokor J (2010)**, 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)
- Peter and Bokor J (2011)**, 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
- Varga I. and Bokor J. (2007)**, New Approach in Urban Traffic Control Systems, Periodica Polytechnica ser. Transp. Eng., Budapest, Hungary, 2007, Vol. 35. No 1-2. pp. 3-13