BUDAPEST MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
KÖZLEKEDÉSAUTOMATIKAI TANSZÉK

Bécsi Tamás

KÖZÚTI KÖZLEKEDÉSI RENDSZEREK MODELLEZÉSE ÉS SZTOCHASZTIKUS SZIMULÁCIÓJA

Tézisfüzet

Témavezető: Dr. Péter Tamás

BUDAPEST
2008

Bevezetés

A kutatási téma időszerűsége

A közlekedési folyamatok korunk nélkülözhetetlen elemei, ezáltal a személy-, és áruszállítás igényeinek kiszolgálása alapvető feladat. A közlekedésnek a gazdaság és az egyén életében is meghatározó szerepe van. A közlekedés problémái, a fennakadások, a gyakori torlódások, a balesetek, széles területen igen súlyos hatást gyakorolnak életünkre. Mindez fokozza az igényt a közlekedés fejlesztése és egyre modernebb eszközökkel történő tervezése iránt. (EU Közlekedéspolitika 2001–10 „Fehér Könyv". Magyar Közlekedéspolitika 2003–15, NFT2.) Az utóbbi évtizedekben jelentős növekedés tapasztalható a közlekedési igények területén. Ennek hatására egyre inkább elmélyültek az infrastruktúra kapacitásproblémái, annak ellenére, hogy az infrastruktúra fejlesztése is folyamatosan történik. A probléma jelenléte igen kirívó a városi közlekedésben, ahol a terjeszkedésre már nincs megfelelő lehetőség. Ebből következik, hogy ezen a területen a közlekedésszervezés szerepe a meghatározó.

A kutatás módszertana, fő célkitűzések

A forgalom kihívásaira adott válaszoknak több felhasználási lehetősége van. A három legjellemzőbb felhasználási terület a következő: [Kach99]

1. **Forgalomtervezés**: Igények tervezése, utazási idő előrejelzése, útvonal-generálás, útvonalelosztás, illetve a vezérlési mód kiválasztása, melyeknek az a célja, hogy lássuk egy új út, vagy az adott területen végrehajtott változás hatásait.
2. **Szimulációk**: Létező forgalmi szabályozások összehasonlítására lehet felhasználni. A forgalomtervezés analizálására képes, feltétele az adott O-D (Origin-Destination, induló-érkező) viszonyok meghatározása.
3. **Valósidejű forgalomszabályozás**: A valóságos forgalom irányítása, felhasználva az adott helyen és időben a forgalom viselkedését és alakulását. A szabályozás különösen fontos a valósidejű forgalomszabályozásnál, de a másik két esetben is jól felhasználható.

Értekezésem a közlekedési folyamatok modellezésével és szimulációjával foglalkozik, és nem foglalkozik a közlekedéstervezés empirikus, analitikus módszereivel. A forgalom vizsgálatának megközelítési módjait legjobban Papageorgiou [Papa98] foglalja össze, ezek alapján az alábbi szempontok szerint oszthatjuk fel a rendszereket:

- A független változók reprezentálása (folyamatos, diszkrét, szemi-diszkrét);
- Modellek részletessége (szubmikroszkopikus, mikroszkopikus, mezoszkopikus, makroszkopikus);

- Folyamatok reprezentációja (determinisztikus, sztochasztikus);
- Működés (analitikus, szimuláció);
- Az alkalmazás részletessége (hálózat, csomópontok).

A modellezési probléma vizsgálata közben a szimuláció igen sok alakot ölthet és számos alkalmazása lehetséges. Ennek oka az, hogy a szimulációval vizsgálható problémák nagyon változatosak és sokfélék lehetnek. Ennek során létezik néhány alapvetőnek elfogadott lépés [Vásá85, Lieb97]:

1. **Probléma definiálása**: A modellalkotás céljának megfogalmazása a várt eredmények figyelembevételével.
2. **A vizsgálandó rendszer lebontása**: A rendszer elemeinek, és a köztük levő kölcsönhatások vizsgálata. A szükséges bemenő információk meghatározása.
3. **A modell fejlesztése**: Matematikai, illetve számítógépi modell kialakítása.
4. **A modell kalibrálása**: Adatok gyűjtése és modellbe való beépítése, a minél nagyobb hatékonyság érdekében.
5. **Verifikáció**: A modell működésének vizsgálata, melynek célja annak ellenőrzése, hogy a számítógépi modell a matematikai modellnek megfelelően működik-e. Ez a vizsgálat az egész modellre, illetve annak részeire is elvégezhető.
6. **Validáció**: Annak ellenőrzése, hogy a modell – az elvárt tűréshatáron belül – megfelelően leképezi-e a valós rendszert?
7. **Dokumentáció**: A szimuláció végrehajtása során nyert jellemzők értékeinek automatikus feljegyzése és kiértékelése, és ezen eredmények közlése, interpretálása.

A szimuláció futtatásánál, illetve vizsgálatánál felmerülhet az a veszély, hogy akár figyelmetlenség, akár a valóság helytelen feltárása miatt a készített modell nem alkalmazkodik a valósághoz, vagy – valamilyen speciális esetben – nem működik megfelelően. Ennek kiküszöbölése érdekében be kell tartani néhány alapvető modellalkotási szabályt:

- Nem szabad elfogadni olyan feltevést, amelynek hatása és érvényességi köre nincs tisztázva.
- Nem szabad olyan változókat bevinni a modellbe, melyek nincsenek kellően definiálva, illetve számszerűsítve, és viszonyuk a többi változóval nem tisztázott.
- Nem szabad túlzottan leegyszerűsíteni a modellt, mert ez a realitás rovására mehet.
- A gyakorlati megvalósíthatóság érdekében a modell bonyolultságának féken tartása.

Az értekezésben, a hozzá kapcsolható kutatás során felépített rendszer fejlesztésének főbb eredményei kerülnek ismertetésre az alábbi fő, fejezetekbe rendezett témakörök mentén:

- Modellezés, amely során a mikroszkopikus forgalmi modellezés fő iránymutatásai és az ismert modellek bemutatása mellett egy új, Fuzzy alapú mikroszkopikus modell kerül bemutatásra.
- Adatgyűjtés, a videó alapú forgalommérés technikájának bemutatása.
- Identifikáció, melyben a mért adatok feldolgozása mellett a mikroszkopikus modellek paramétereinek meghatározása kerül ismertetésre.
- Szimulációs rendszer építése. A fejezet egy jól bővíthető, többféle kutatási célra felhasználható, a kifejlesztett követési modell segítségével épített szimulációs rendszert ismertet.
- Mintaalkalmazások, melyben a szoftverkörnyezet modularitása kerül bemutatásra négy példán keresztül, melyből kettő külső kutatás támogatása, egy az identifikált modellek minőségi vizsgálatával, validálásával foglalkozik, míg az utolsó egy soft-computing alapú forgalombecslő alkalmazást ismertet.

Az értekezés tudományos eredményei

Megvizsgáltam az irodalomban található klasszikus mikroszkopikus modelleket, különös tekintettel:

- a Nagel-Schreckenberg modellcsoportra;
- a Gazis-Herman-Rothery (GHR) modellre;
- a Biztonságos távolság és ütközés elkerülési modellekre;
- a Lineáris (Helly) modellekre;
- a Pszichofizikai, vagy „Action Point” (AP) modellekre;
- Fuzzy struktúrát alkalmazó modellekre.

Figyelembe véve a modellezéssel és a járművezetői pszichológiával foglalkozó irodalom ajánlásait, kidolgoztam a fuzzy típusú követési modellek fejlesztésének gyakorlati kritériumait, amely a következő 5 pontban foglaltakra tér ki:

- A Fuzzy halmazok számosságára, ebből következően a
- Bemenő változók particionálásának szűkítésére,
- A több dimenziós partíció elvégzésére,
- A halmazonként (állapotonként) történő defuzzifikációra,
- A teljességre.

Ezen szempontok alapján fejlesztettem modellt:

<u>1. tézis</u>: Olyan mikroszkopikus, diszkrét idejű járműkövetési modellt dolgoztam ki, amely kétszintes, Fuzzy-Sugeno alapú. A követési állapottér particionálásával és második lépcsőben újabb döntéshozással, valamint a járművezetői különbségek megkülönböztetésével határozza meg a modell kimenetét.

Az 1. tézis a [2, 3] publikációkon alapul.

A modell, a bemeneti változók közül a sebesség particionálását hagyja el. A sebességet segédbemenetként alkalmazza a követési távolság particionálásához:

$$D^*_{foll} = v(p_1 r_1 + p_2) + p_3 r_1 + p_4 + \Delta v \Delta T \,, \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
Közel : DF_1 &= \left\{ \begin{matrix} 1 & , ha & dx - D^*_{foll} < a_1 \\ \dfrac{(b_1 - dx)}{(b_1 - a_1)} & , ha & a_1 \le dx - D^*_{foll} \le b_1 \\ 0 & , ha & dx - D^*_{foll} > b_1 \end{matrix} \right\} \\
Távol : DF_2 &= \left\{ \begin{matrix} 1 & , ha & dx - D^*_{foll} < a_2 \\ \dfrac{(dx - a_2)}{(b_2 - a_2)} & , ha & a_2 \le dx - D^*_{foll} \le b_2 \\ 0 & , ha & dx - D^*_{foll} > b_2 \end{matrix} \right\}
\end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
Közeledés : DV_1 &= \left\{ \begin{matrix} 1 & , ha & dv < c_1 \\ \dfrac{(d_1 - dv)}{(d_1 - c_1)} & , ha & c_1 \le dv \le d_1 \\ 0 & , ha & dv > d_1 \end{matrix} \right\} \\
Távolodás : DV_2 &= \left\{ \begin{matrix} 1 & , ha & dv < c_2 \\ \dfrac{(dv - c_2)}{(d_2 - c_2)} & , ha & d_2 \le dv \le d_2 \\ 0 & , ha & dv > d_2 \end{matrix} \right\}
\end{aligned} \tag{3}$$

A felvett partíciók alapján a teljes teret négy állapot fedi le:

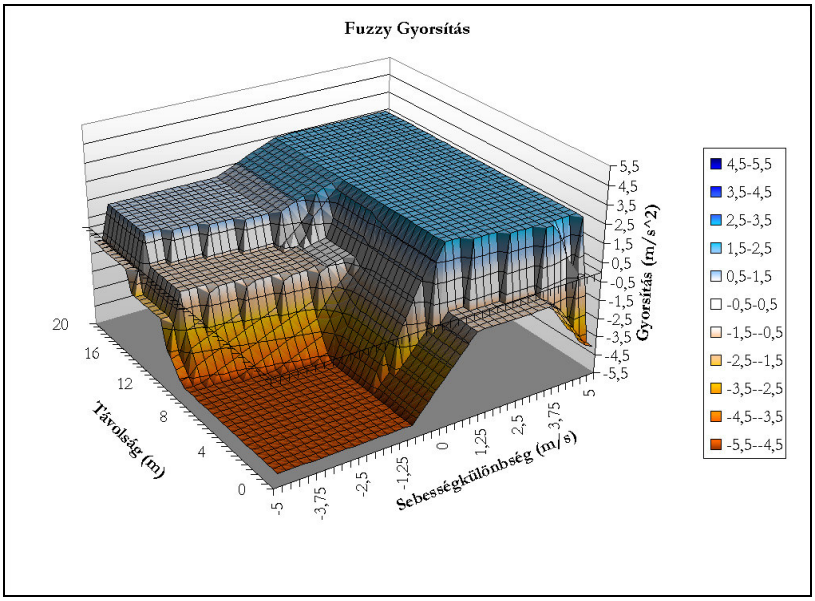
$$\begin{aligned}
&\mathrm{A} = \{A_i ; i \in [1,4]\} \\
&A_1(dx, dv) = t\big(DF_1(dx),\, DV_1(dv)\big) \\
&A_2(dx, dv) = t\big(DF_1(dx),\, DV_2(dv)\big) \\
&A_3(dx, dv) = t\big(DF_2(dx),\, DV_1(dv)\big) \\
&A_4(dx, dv) = t\big(DF_2(dx),\, DV_2(dv)\big)
\end{aligned} \tag{4}$$

Ezek felhasználásával a lehetséges kimenetet az alábbi algoritmus szolgáltatja:

$$a^i_{dspe} = \frac{\sum_{j=1}^{n} PS^i_j(\Delta v) A^{i,v}_i}{\sum_{j=1}^{n} DS^i_j(\Delta v)}; \quad a_{dfoll} = \frac{\sum_{k=1}^{m} DF^i_k(\Delta x - D^*_{foll}) A^{i,f}_j}{\sum_{k=1}^{m} DF^i_k(\Delta x - D^*_{foll})}; \quad \begin{matrix} j \in (1..n) \\ k \in (1..m) \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} a^{i,1}_{med} &= a^i_{dspe} r_2 + a^i_{dfoll}(1 - r_2); \quad r_2 \in [0;1] \\ a^{i,2}_{med} &= (p_5 + p_6 r_2) a^{i,1}_{med} \\ f_i &= \begin{Bmatrix} a_{\max} a^{i,2}_{med}; a^{i,2}_{med} > 0 \\ a_{\min} a^{i,2}_{med}; a^{i,2}_{med} \le 0 \end{Bmatrix} \end{aligned} \qquad ,(5)$$

A kidolgozott modell egy lehetséges gyorsítás-diagrammját ismerteti az 1. ábra:



1. ábra: A Fuzzy követési modell 5 m/s-hoz tartozó gyorsításdiagramja

A *második téziskör* mikroszkopikus bemeneti adatsorokon alapulva valósítja meg a követési modellek paramétereinek meghatározását. A mérési adatok feldolgozása során szükséges az adatsorok

- járműregisztrációjának,
- pozíciósimításának,
- követett jármű keresésének

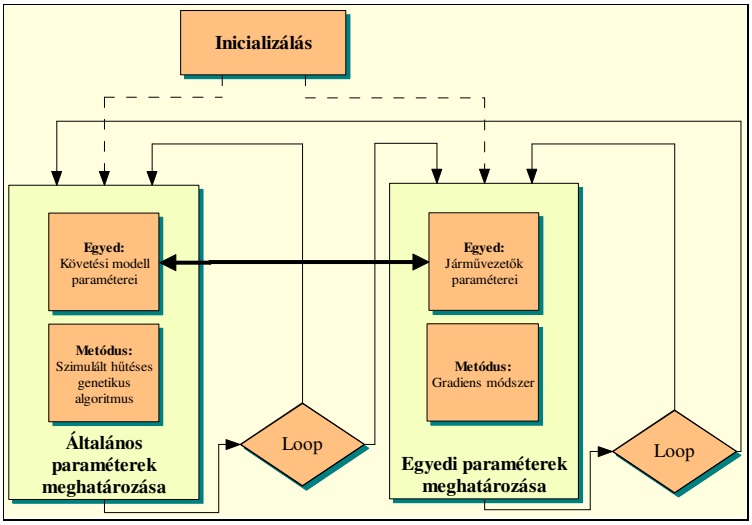
elvégzése. A kapott adatsor felhasználásához szükség van az identifikálandó modell struktúrájára. Az algoritmus ezek után két alapvető, párhuzamosan futó optimumkeresési eljárást alkalmaz, melyek közül az első a globális modellparaméterek meghatározásáért felel, és olyan szimulált hűtéssel támogatott genetikus algoritmust alkalmaz, amely:

- elitista (5%-ban);
- valós génreprezentációval rendelkezik;
- a fitnessértéket, a szimulált hűtés random(T) függvényével módosító;
- a szelekciót így abszolút sorbarendezéssel valósítja meg;
- a mutációt random(T) sugárban végzi;
- teljes rekombinációt alkalmaz;
- állandó populációmérettel bír.

A második algoritmus felel az egyéni különbségek meghatározásáért, amelyet a modellekbe épített individuális változók reprezentálnak. Ebben az esetben a sebesség kritikus tényező, így a keresési intervallum [0,1] ekvidisztáns felosztásaiból indított gradiens eljárást alkalmazza. Az algoritmus működését a 2. ábra mutatja be.

<u>2. tézis:</u> Kidolgoztam a mikroszkopikus közúti követési modellek paraméter-meghatározásának egy olyan módszerét, amely mért mikroszkopikus adatsort felhasználva, képes a modellparaméterek és az individuális különbségek egyidejű meghatározására.

A 2. tézis a [6, 10, 11] publikációkon alapul.



2. ábra: Az optimumkeresés menete

A kidolgozott algoritmus a globális és az individuális paraméterek egyidejű meghatározásában használható fel.

A szoftverstruktúra fejlesztését bemutató fejezet tudományos eredményeit foglalja össze *a 3. tézis*. A fejlesztés célja olyan architektúra létrehozása volt, amely képes különböző modelleket és különböző szituációkat magába építeni. A

környezet a dinamikusan felépített osztálystruktúrára és a moduláris jellegre fekteti a hangsúlyt. A környezet tartalma:

- Hálózat leírása;
- Szereplők leírása;
- Alapvető forgalomtechnikai objektumok leírása;
- Járműgenerálás;
- Szimulációs kernel (mag);
- Alapvető járművezetői döntések.

Ezen funkciók mellett egy dinamikusan programozható ősosztály bevezetésével egyéb objektumok, illetve interfészek definiálására van lehetőség. A környezethez tartozik egy, a hálózat leírásához, illetve a tesztesetek futtatásához szükséges Script-nyelv fejlesztése is.

<u>3. tézis:</u> Olyan kutatási célú moduláris közúti forgalom-szimulációs keretrendszer struktúráját dolgoztam ki, amely alkalmas a közúti forgalom egyszerű modellezésére és rugalmasan bővíthető.

A 3. tézis a [2, 3, 4] publikációkon alapul.

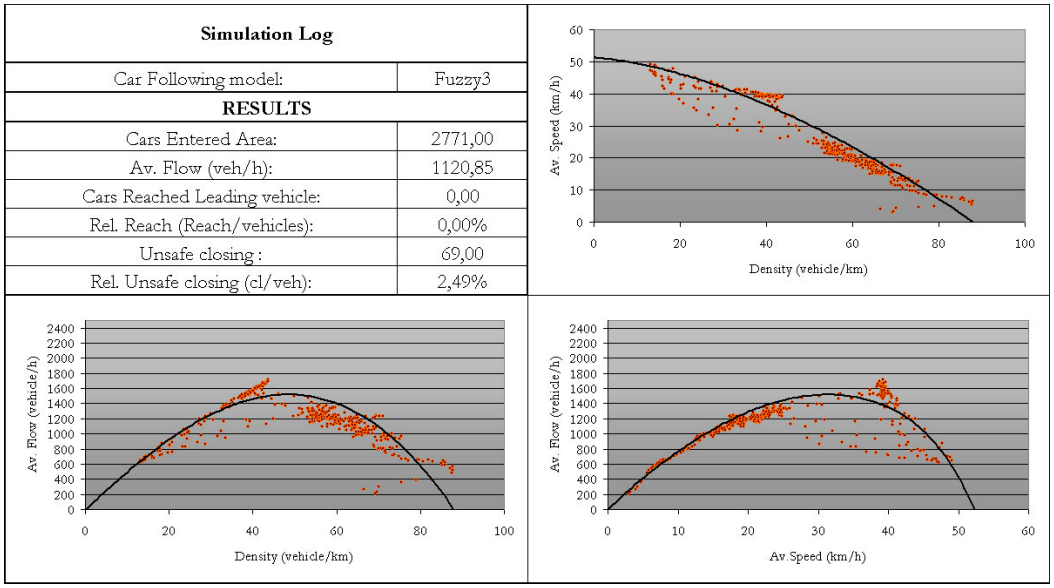
A fejlesztett szoftver felhasználási lehetőségeit bemutató fejezet eredményei alapján született az értekezés *4. és 5. tézise.*

Az *1. tézis* útmutatásai alapján fejlesztett modell optimalizálását az értekezés 4. fejezete ismerteti, melynek eredményeit a *2. tézisben* foglaltam össze. Szükséges azonban az ily módon felvett paraméterekkel bíró modell teljesítményének vizsgálata. Mivel a modell teljesítményét önmagában nehéz értékelni, ezért az összehasonlítás érdekében 4 másik modell paraméteridentifikációját és értékelését is elvégeztem. A vizsgált modellek:

- Gazis-Herman-Rothery (GHR); [Gazi59, Chan58]
- Gipps (Aimsun); [Gipp81, Bern99, Barc04]
- Wiedemann (Vissim); [Wied92, Fell97, Fell01, Fell00]
- egyszerű fuzzy modell;
- Fuzzy állapotokon alapuló modell.

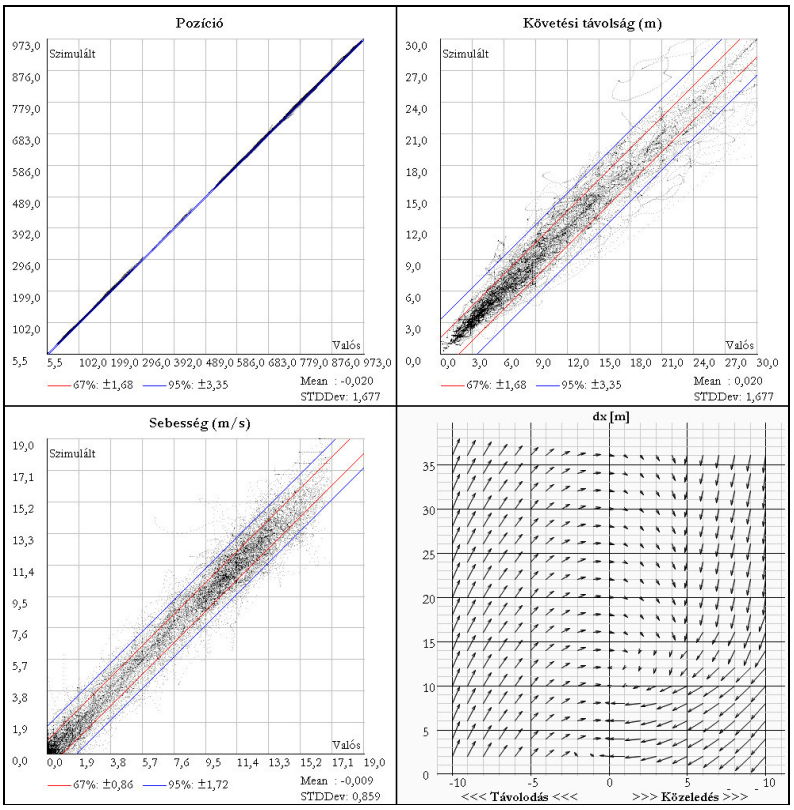
A modellek értékelését két szempont alapján végeztem el. A mikroszkopikus viselkedés vizsgálata során a kétszereplős vizsgálatban stabilnak bizonyult modellek stabilitását vizsgáltam egy adott útszakaszon, dinamikusan változó forgalom mellett. Ennek során két tényező, a ráfutás és a „kritikus megközeltés” számosságát figyeltem. A makroszkopikus vizsgálat ugyanezen szituáció mellett, a szakaszon

folyó makroszkopikus forgalmi jelleg referenciamodellel történő összevetésével történt. A saját modell teljesítményét a 3. ábra., illetve a 4. ábra szemlélteti:



Simulation Log	
Car Following model:	Fuzzy3
RESULTS	
Cars Entered Area:	2771,00
Av. Flow (veh/h):	1120,85
Cars Reached Leading vehicle:	0,00
Rel. Reach (Reach/vehicles):	0,00%
Unsafe closing :	69,00
Rel. Unsafe closing (cl/veh):	2,49%

3. ábra: A Fuzzy modell mikroszkopikus és makroszkopikus jellemzőinek értékelése, referenciamodellel



4. ábra: A Fuzzy modell teljes adatsorra vetített eltérésdiagramjai, illetve az 5 m/s sebességhez tartozó iránymező-metszet

<u>4. tézis:</u> Módszert dolgoztam ki a mikroszkopikus közúti forgalmi modellek értékelésére. A módszer felhasználásával értékeltem az *1. tézis* szerint kidolgozott, és a *2. tézis*nek megfelelően optimalizált modell eredményeit, összevetve az irodalom más modelljeivel.

A 4. tézis a [11, 12] publikációkon alapul.

A moduláris szimulációs rendszer egyik nagy előnye, hogy általa olyan szituációkat is lehet tesztelni, amelynek gyakorlati mérése nem megvalósítható egy rendszer fejlesztési szakaszában, illetve olyan szituációk előidézése van mód (pl. a balesetek okozta torlódás) amelyek komoly aggályokat vetnek fel forgalombiztonsági, így társadalmi szinten is. Az ilyen szituációk felismeréséhez, illetve menedzseléséhez szükséges az olyan rendszerek fejlesztése, amelyek megfelelően kezelik a hasonló eseteket, így javítva a közúti hálózat biztonságát, illetve teljesítményét. Egy ilyen lehetőség az ún. incidensdetektálás, amelynek kiterjedt irodalma van, és amelyre a forgalombecslésen keresztül egy lehetséges megvalósítást ad az *5. tézis*:

<u>5. tézis:</u> Adaptív Fuzzy-Sugeno típusú makroszkopikus modell felhasználásával eljárást dolgoztam ki autópálya forgalombecslésének megvalósítására.

Az 5. tézis az [1, 2] publikációkon alapul.

A kidolgozott algoritmus egy autópálya-szakasz, illetve több egybefüggő szakasz végpontjain elhelyezett keresztmetszeti forgalommérés alapján alkalmas a forgalombecslés megvalósítására a forgalom sűrűségének becslésével. Így a bemenő keresztmetszeti adatok alapján képezett elméleti forgalomsűrűség és a két végpont mérésének különbségéből adódó valós járműszám összevetésével lehet az adott szakaszon baleset, vagy egyéb közlekedési anomália észlelését végezni.

Az algoritmus lényege, hogy a beáramló forgalomnagyság alapján egy Sugeno típusú makroszkopikus forgalmi modell segítségével becsli a járművek szakaszon töltött idejét, így meghatározva a szakasz terhelését. Felépítéséhez akármelyik klasszikus makroszkopikus modell felhasználható lenne, azonban a valós körülmények változása (időjárási, szezonális, útminőség illetve láthatósági viszonyok) időről-időre más-más forgalmi jelleget indikálnak. Ennek megfelelően szükséges olyan modellt alkalmazni, amely adaptív jelleggel bír, azaz e változásokat képes követni. Ennek céljából egy mikropopulációs genetikus algoritmus –, mely alacsony egyedszáma révén valós időben képes az optimalizációt elvégezni – került beépítésre. Az optimalizáció ezek után elvégezhető individuálisan, vagy az összefüggő szakaszokra közösen.

Az új tudományos eredmények gyakorlati hasznosítása

Értekezésem a közúti forgalom modellezésével és szimulációjával foglalkozik, struktúrája és tartalma a témában végzett fontosabb kutatásaimat

foglalja össze. A kutatás célja minden esetben felhasználható, implementálható, adott esetben valós idejű végrehajtásra alkalmas algoritmusok, eljárások, struktúrák létrehozása volt, így minden esetben a kidolgozott struktúrák számítástechnikai megvalósítása is megtörtént. Ennek keretében szoftveres megoldásokat fejlesztettem:

- a videó alapú forgalommérés és adatgyűjtés céljából;
- az adatsorok feldolgozása és a modellek paraméter-meghatározásának céljából;
- a közúti forgalom szimulációja céljából, mely a forgalom alapvető szimulációja mellett kapcsolódó moduljai által képes:
    - a modellek minőségi jellemzőinek értékelésére;
    - más szoftverekkel való kommunikációra;
    - az autópálya forgalombecslés megvalósítására.

A szoftverek működése igazolja, hogy a kifejlesztett struktúrák működése megfelelő, futási sebességük összevethető más, az irodalomban fellelhető modellekével.

A téma kutatása azonban jelen állapotában nem tekinthető véglegesnek. A kutatási területet számos kutatási központ tekinti kiemelt témának, lévén az intelligens közlekedési rendszerek fejlesztése fontos hozzájárulást jelent a növekvő közlekedési igényekre adott társadalmi válaszhoz. Ebben igen nagy segítséget nyújt az információ- és kommunikációtechnológia rohamos fejlődése, mely egyre komplexebb real-time rendszerek megalkotását teszi lehetővé.

A tézisfüzetben meghivatkozott publikációk

[Barc04] Barceló, J.: "AIMSUN Microscopic Traffic Simulator: A Tool for the Analysis and Assessment of Its Systems", Tech. Rep., TSS-Transport Simulation Systems, 2004

[Bern99] Bernauer, E. et al.: "Micro-Simulation Workshop", SMARTEST - Simulation Modelling Applied to Road Transport European Scheme Tests, [online]:http://www.its.leeds.ac.uk/smartest, 1999

[Chan58] Chandler, R.E., Herman, R., and Montroll, E.W. : "Traffic Dynamics: Studies in Car Following", Operations Research, vol. 6., 1958, pp.165-184.

[Fell97] Fellendorf, M.: "Parametrization of Microscopic Traffic Flow Models through Image Processing", in Proc. of. 8th IFAC Symposium on Transport, Chania, Crete, 1997

[Fell00] Fellendorf, M., and Vortisch, P.: "Integrated Modeling of Transport Demand, Route Choice, Traffic Flow and Traffic Emissions", 79th Annual Meeting of the Transport Research Board, Washington, 2000

[Fell01] Fellendorf, M., and Vortisch, P.: "Validation of the Microscopic Traffic Flow Model VISSIM in Different Real-World Situations", 2001

[Gazi59] Gazis, D.C., Herman, R., and Potts, R.B.,: "Car following theory of steady state traffic flow", Operation Research, Vol. 7, 1959, pp.499-505.

[Gipp81] Gipps, P.G.: "A Behavioural Car-following Model for Computer Simulation", Transportation Research Part B, Issue 2, Pergamon, 1981, pp.105-111.

[Kach99] Kachroo, P., and Özbay, K.: "Feedback Control Theory for Dynamic Traffic Assignment", Springer, 1999

[Lieb97] Liebermann, E., and Rathi, A.K.: "Traffic Simulation", in Revised Monograph on Traffic Flow Theory, Turner-Fairbank Highway Research Center, [online]:http://www.tfhrc.gov/its/tft/tft.htm, 1997

[Papa98] Papageorgiou, M.: "Some Remarks on Macroscopic Traffic Flow Modelling", Transportation Research A 32(5), 1998, pp.323-329.

[Vásá85] Vásárhelyi, B.: "A közúti forgalom lefolyásának szimulációja", Közlekedéstudományi Intézet, Budapest, 1985

[Wied92] Wiedemann, R., and Reiter, U.: "Microscopic Traffic Simulation: The Simulation System MISSION. Background and Actual State", CEC Project ICARUS (V1052) Final Report, Vol.2 Appendix A. CEC, Brussels, 1992

A szerzőnek az értekezéshez kapcsolódó tudományos közleményei

[1] Bécsi, T., and Péter, T.: "An Adaptive Approach to Modeling Traffic Flow and Incident Detection on Highways", Proceedings of the 3rd International Conference on Global Research and Education in intelligent Systems, Interacademia 2004, Budapest, 2004

[2] Bécsi, T., and Péter, T.: "Szimulációs környezet a közúti forgalmi folyamatok hatékony modellezéséhez", Közlekedéstudományi Szemle LV. évf. 5.sz., Budapest, 2005, pp.170-178.

[3] Bécsi, T., and Péter, T.: "Sztochasztikus közúti közlekedési folyamatok vizsgálata a modellezést szolgáló hatékony szimulációs környezetben", Intelligens közlekedési rendszerek és jármű-controll. Előírások a közlekedés biztonságának növelésére. Magyar Mérnökakadémia Symposium Budapest, 2005, pp. 416-432.

[4] Kulcsár, B., Bécsi, T., and Varga, I.: "Estimation of Dynamic Origin Destionation Matrix of Traffic Systems", Periodica Polytechnica Ser. Transp.Eng. Vol.33, No.1-2, 2005, pp.14.márc.

[5] Bécsi, T., and Péter, T.: "Automatikus video alapú forgalomméró szoftver fejlesztése, a forgalom modellezéséhez", A jövő járműve, járműipari innováció, I. évf. 1-2, X-Meditor, Győr, 2006, pp.24-27.

[6] Bécsi, T., and Péter, T.: "A Mixture of Distributions Background Model for Traffic Video Surveillance", Periodica Polytechnica Ser. Transp.Eng. Vol.34, No.1, 2006, pp.9.jan.

[7] Bécsi, T., and Berta, T.: "Effects on Speed of Traffic Calming Tools Installed on Urban Roads", Proc.of Biztonságos utakon a XXI. században, Budapest, 2006

[8] Bécsi, T., and Péter, T.: "Forgalmi modellek identifikációja a videó-mérésből kinyert paraméterhalmaz alapján", Technical Report, BME EJJT, Budapest, 2006

[9] Bécsi, T., and Péter, T.: "Lakóterületi sebességszabályozás forgalomtechnikai tervezése", Innováció és fenntartható felszíni közlekedés, MMA, Budapest, 2007

[10] Bécsi, T., and Péter, T.: "Képfelismerésen alapuló technológiák gyakorlati felhasználása a közúti közlekedés vizsgálatában", Innováció és fenntartható felszíni közlekedés, MMA, Budapest, 2007

[11] Bécsi, T., and Péter, T.: "Mikroszkopikus követési modellek, a vezetői különbségeket figyelembevevő paraméterek meghatározására", A jövő járműve, járműipari innováció, III. évf. 1-2, X-Meditor, Győr, 2008. (megjelenés alatt)

[12] Bécsi, T., and Péter, T.: "Development and Evaluation of a Fuzzy-based Microscopic Vehicle-following Model", Periodica Polytechnica Ser. Transp.Eng., Budapest, 2008. (megjelenés alatt)