

Szubmikroszkopikus forgalomszimulációs keretrendszer tervezési kérdései

Aradi Szilárd*, Bécsi Tamás**

*BME Közlekedésautomatikai Tanszék
Budapest (Tel: (1)463-1044; e-mail: aradi.szilard@mail.bme.hu).

** BME Közlekedésautomatikai Tanszék
Budapest (Tel: (1)463-1044; e-mail: becsi.tamas@mail.bme.hu).

Abstract: Cikkünk a közúti közlekedés modellezésének kérdésével foglalkozik. Az eddigi munka egy hosszabb távú kutatás kezdete, amely egy olyan moduláris, szubmikroszkopikus forgalmi modellező keretrendszer kifejlesztését tűzte ki célul, amely rugalmasan kiegészíthető a tesztelni kívánt jármű fedélzeti rendszer modelljével, és alkalmas különböző forgalmi szituációkban történő szimulációra.

1 BEVEZETÉS

A közúti forgalom hosszú évek óta kiterjedt vizsgálatok tárgyát képezi, és igen sokféle megközelítésben kísérelték meg matematikai modellekkel leírni. Az egyes modelleket – részletességüktől függően – más és más felhasználási területen használhatjuk. Azaz nem létezik egyetlen, minden feladatra alkalmas modell, mindig az adott feladat alapján kell kiválasztani a legmegfelelőbbet.

A forgalmi problémának, és megoldásainak több felhasználása létezik. A három legjellemzőbb felhasználási terület a következő. [10]

Forgalomtervezés: Igények tervezése, utazási idő előrejelzése, útvonal-generálás, útvonalelosztás illetve a vezérlési mód kiválasztása, melyeknek célja az, hogy lássuk egy új út, vagy az adott területen végrehajtott változás hatásait.

Szimulációk: Létező forgalmi szabályozások összehasonlítására lehet felhasználni. A forgalomtervezés analízisére képes, feltétele az adott O-D (Origin-Destination, induló-érkező) viszonyok meghatározása.

Valós idejű forgalomszabályozás: A valóságos forgalom irányítása, felhasználva az adott helyen és időben a forgalom viselkedését és alakulását. A szabályozás különösen fontos a valós idejű forgalomszabályozásnál, de a másik két esetben is jól felhasználható.

A legújabb felhasználási terület a járműipari alkalmazások fejlesztése. Itt elsősorban a járművek viselkedését befolyásoló fedélzeti berendezések (adaptív sebességtartó automatikák, sávhagyásra figyelmeztető berendezések) jöhetnek szóba. Az egyre komplexebb szabályozó rendszerek bevezetése során folyamatosan nő az igény arra, hogy működésüket különböző forgalmi szituációkban lehessen modellezni. Ehhez részletes jármű, pálya és járművezető modellekre van szükség. Hasonló igényeket támaszt a veszélyes forgalmi helyszíneken bekövetkező események modellezése is.

A cikk – az ilyen jellegű feladatokra legalkalmasabb – az ún. szubmikroszkopikus modellekkel foglalkozik.

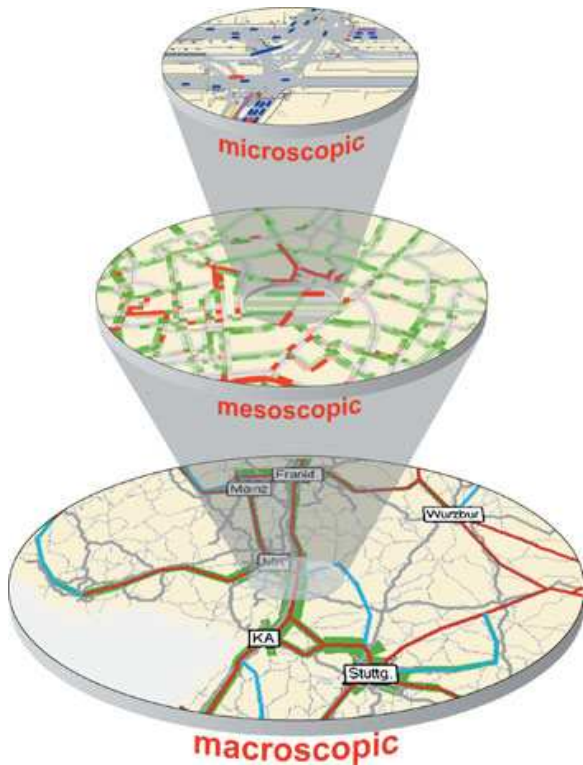
2 A KÖZÚTI KÖZLEKEDÉS MODELLEZÉSI SZINTJEI

A közúti forgalom modellezésére sokféle technika terjedt el. A szimulációs modellek részletessége a makroszkopikus modellezéstől indulva a mezoszkopikuson át a mikroszkopikus, illetve szubmikroszkopikus modellekig terjednek.

- A **makroszkopikus** modellek lényege az, hogy a forgalmat egy közeg áramlásaként kezeljük és a forgalom változását néhány fő jellemző (forgalomáramlás, forgalomsebesség, forgalomsűrűség) funkciójaként határozzuk meg. Ezek a modellek a legegyszerűbb lineáris kapcsolattól [1], egyre bonyolultabb és összetettebb irányba fejlődtek [2] (Greenberg, NWU modell, Drew modell, diffúziós modellek). A makroszkopikus modellezés kiválóan alkalmas hálozati szintű vizsgálatra, ám nem ad semmilyen információt az egyénekről, bár hozzá kell tenni, hogy ez nem is feladata. [3][4][5]
- A **mezoszkopikus** modellek kötik össze a makro-, és a mikromodelleket. Az ilyen jellegű modellekben már megjelenik a jármű entitásként, de viselkedése még vagy a makroszkopikus jellemzőktől függ, vagy nagyon alacsony szintű modellezést alkalmaz, illetve nem minden esetben jelentkezik az összes valós résztvevő a szimulációban, csak egyes elemek viselkedését vizsgáljuk. Ezek a modellek igen sok formát ölthetnek. Egyrésztől tekinthetőek a járművek valamilyen csoportba szervezett, és e módon átvezetett egységek, de számos irodalom joggal ide sorolja az automata modelleket is (pld. Nagel-Schreckenberg modell [6]). A mezoszkopikus modellek leginkább az ún. „Dynamic Traffic Assignment”, azaz dinamikus forgalomszétosztás vizsgálatára alkalmasak.
- A **mikroszkopikus** modellek esetében már minden jármű külön egyedként szerepel a modellben és a járművek (illetve járművezetők) viselkedése már a közvetlen környezetüktől függ. Az általános mikroszkopikus modellek alapeleme a járműkövetési-, sávválasztási-, illetve útvonal-választási modell. E modellek általában egy modellként kezelik a jármű-járművezető rendszert. A kezdeti

modellek az ún. cellás (diszkrét) modellek voltak, ekkor az útszakaszt egység hosszúságú cellákra osztották, és a járművek ezeket a diszkrét pozíciókat vehették fel. [7]

- Az emberi viselkedés vizsgálatára a legjobban az ún. **szubmikroszkopikus** modellek felelnek meg. E modellek esetén teljesen szét van választva a – már többdimenziós – pálya, a jármű és a járművezető.



1. ábra: Modellezési szintek [8]

3 ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEK

A bevezetőben felsorolt felhasználási területek közül a jármű-fedélzeti rendszerekkel kapcsolatos felhasználások igényeit térképezzük fel ebben a fejezetben.

Az elmúlt években és jelenleg is nagyon sok kutatás foglalkozik a mikroszkopikus modellek továbbfejlesztésével. Mivel a mikroszkopikus modellek alapvetően az egyben kezelt jármű-járművezető egységek közötti interakciókat írják le, így nem elégségesek a járművek és a járművezetők viselkedésének részletesebb modellezéséhez. Azonban sok autóiipari alkalmazás megköveteli a komplexebb jármű és járművezető modellek alkalmazását. Ilyenek lehetnek a járművek fogyasztását és károsanyag-kibocsátását csökkentő fejlesztések, továbbá a különböző – a járművek viselkedését befolyásoló – fedélzeti berendezések kifejlesztésének támogatása. Konkrét példaként említhetők az adaptív sebességtartó automatikák, ütközésre és sávelhagyásra figyelmeztető (elkerülő) rendszerek alkalmazásai, különös tekintettel az elővárosi és városi környezetre. Ide sorolhatók - a még kutatási fázisban lévő - járművek közötti kommunikációs rendszerek. A jelenlegi kutatások [11] a mikroszkopikus közlekedési modelleket integrálják számítógép hálózati modellekkel, hogy az újonnan

kifejlesztett hálózati protokollokat (pl.: hálózat felépítési eljárások, speciális útválasztó algoritmusok) teszteljék. Ezekhez alapvetően elegendőek a mikroszkopikus modellek is. Azonban abban az esetben, ha a kommunikációs rendszert használó alkalmazást (pl.: kommunikáció alapú ütközés megelőző rendszer) is modellezni szeretnénk, már nem elég a mikroszkopikus modell.

A másik fontos felhasználási terület lehet a balesetveszélyes területek és helyzetek szimulációja. Itt előtérbe kerül a jármű-pálya kapcsolat modellezése, valamint a járművezető viselkedési modellje.

Megállapítható, hogy a fenti két fő problémakörhöz a szubmikroszkopikus modellek a legmegfelelőbbek.

4 MODELLÉPÍTÉS

A modellépítés ismertetésekor nem csupán a modellek elvi felépítését, hanem azon változásokat ismertetjük, amelyek eltérnek a konvencionális mikro-, illetve makro megközelítéskéntől. Egy szubmikroszkopikus modell alapvetően a következő elemekből áll, amelyek az alábbi alfejezetekben kerülnek kifejtésre:

- hálózati, illetve pályamodell;
- járműmodell és
- járművezetői modell.

4.1 Hálózati modell

A makroszkopikus modellek esetében a hálózatot csomópontokból és utakból álló gráfként lehet leírni. Sok esetben a modellezés szintje még azt sem követeli meg, hogy az egyes sávokat külön kezeljük. A mikroszkopikus modelleknél már egyértelműen szerepet játszanak a sávok, illetve a különböző sorolási megkötések, de ezen a szinten is az adott sáv kvázi egy dimenziósnak tekinthető.

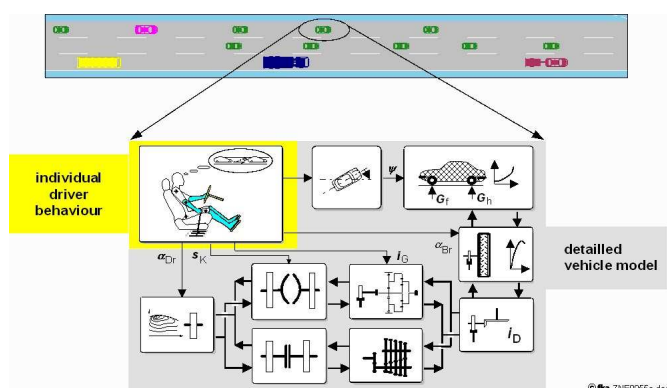
A szubmikroszkopikus modellek esetében, miután vizsgálni kívánjuk a jármű-út kapcsolatot is, a hálózati modellnek tartalmaznia kell a pálya felületét leíró háromdimenziós modellt, hozzáátve a különböző helyeken a különböző útminőségi paramétereket is. Természetesen a járművezetői döntések segítéséhez, illetve a szimuláció sebességének javításához szükséges felvenni a hálózat ún. logikai modelljét is, amely megegyezik a mikroszkopikus hálózatreprezentáció formájával.

4.2 Járműmodell

A mikroszkopikus modellek esetén a jármű-vezető kettős egyetlen, szoros egységet képez, a szubmikroszkopikus esetben azonban ezeket külön kell választani. Egy ilyen modellt ismert A. Hochstädter et al. [9] a PELOPS rendszerkoncepcióban. A szubmikroszkopikus járműmodell alapvetően két interfésszel rendelkezik, kapcsolódik az út háromdimenziós modelljéhez, illetve a járművezetőhöz. A járművezetővel létesített kapcsolat értelemszerűen a kezelőszervek állásainak információját tartalmazza, tehát a kormány gáz-, kuplung-, és

fékpédált, illetve a sebességváltót. Az irodalomban található különböző járműmodellek különböző modellezési mélységéig mennek el, függően attól, hogy együtt kezelik-e a hajtásláncot, vagy külön, ám egyik modell sem megy az egyes alkotóelemek logikai modelljénél mélyebb szintre. (fogaskerék kapcsolatok mechanikai modellje, motor égéster stb.) Ennek három igen jól alátámasztható oka van, ugyanis a vizsgálatok céljai az ilyen mélységű modellezést nem indokolják, a fejlesztési költségekben és időben ez igen nagy pluszt jelentene, továbbá a jelenlegi számítási kapacitásokat figyelembe véve a szimulációt nem lehetne elvárható sebességgel futtatni. Amennyiben azonban komolyabb vizsgálatokat szeretnénk folytatni a modellen, nem hanyagolhatjuk el a jármű mechanikai tulajdonságait, azaz a súlypontok és felfüggesztések dinamikáját, a megfelelő tapadás modellezése végett. A kutatás jelen fázisában az alábbi részegységek modellezése tűnik indokoltnak:

- humán interfész (kormány, pedálok, sebességváltó);
- út interfész (kerékerők, tapadás);
- mechanikai modell:
 - o súlypontok, felfüggesztés;
 - o motor, váltó, tengelykapcsoló, hajtás, kerekek;
- általános elektronikai vezérlések;
- opcionális lehetőségként speciális vezérlőmodul interfész.



2. ábra: A Pelops járműmodell [9]

4.3 Vezetői modell

Döntési szempontból a szubmikroszkopikus modellek Járművezetői modellje a mikroszkopikus modellek járműmodelljének felel meg. A járművezetőnek ugyanis ugyanúgy döntenie kell:

- operatív szinten: sebességválasztás, követési távolság, fékezés gyorsítás;
- taktikai szinten: sávválasztás előzés, sorolás;
- stratégiai szinten: útvonalválasztás.

A különbséget a két modellezési paradigma között azonban több tényező is meghatározóvá teszi.

1. A járművezető a mikroszkopikus modellek esetén direkt gyorsítási illetve fordulási utasítást ad, amelyet a jármű végre is hajt, míg jelen esetben csak a jármű-interfésznek továbbítja az utasításokat.
2. A járművezető, ellentétben a mikroszkopikus modellekkel nem érzékeli a teljes környezetét, pld. a kereszteződésbe takarásból érkező járműveket.
3. A járművezető nem ismeri a teljesen pontos távolság, sebességadatokat, csak valamilyen közelítő jellemzőt.
4. A járművezető a különböző döntési szinteken a hálózat különböző modelljeit alkalmazza. Stratégiai szinten a hálózat logikai modelljét, mivel az útvonalválasztáshoz ez elegendő, operatív szinten a háromdimenziós modellt, mivel az operatív döntésekhez a szubmikroszkopikus környezet ismerete elengedhetetlen, a taktikai szinten pedig mindkettőt, a szituációnak megfelelően.

A fentiek figyelembevételével a járművezetői modell az alábbi alkotóelemekből kell, hogy felépüljön:

- Érzékelési modell, elsősorban a látás modellezése;
- Döntési modellek:
 - o Operatív,
 - o Taktikai és
 - o Stratégiai
- Jármű interfész (jármű kezelésére)
- Út interfész az hálózat logikai és háromdimenziós érzékelésére.

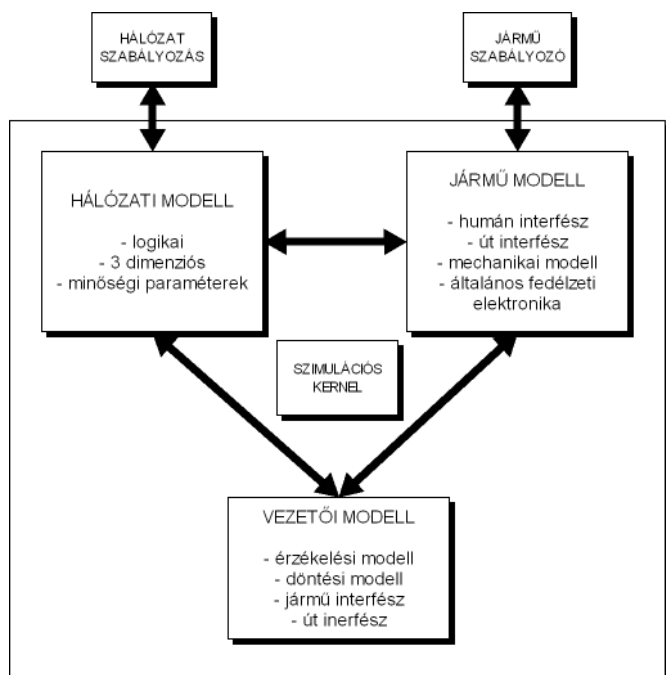
4.4 Adatmodell

A közúti forgalom szubmikroszkopikus modellezésének megközelítése során nagyon fontos betartani néhány alapvető szabályt. Ellentétben például a makroszkopikus modellekkel, ahol a szimuláció alkotóelemei a lehető legszorosabb kapcsolatban állnak egymással, szubmikroszkopikus esetben az alkotóelemek lehetőségek szerinti legjobb szétválasztása a cél. Ennek oka az is, hogy ebben az esetben már igen nagy különbség lehet az egyes döntési modellek, illetve jármű alkotóelemek mintavételi idő igényében. A járművezető taktikai, vagy operatív döntései sokkal ritkább feldolgozást igényelnek, mint például egy sebességváltás, vagy akár a jármű-út kapcsolat modellezése. Az ilyen modell adatstruktúráját célszerű tehát úgy megalkotni, hogy az egyes elemek függetlenül tervezhetőek, módosíthatóak legyenek. Ahhoz azonban, ez számítástechnikailag megvalósítható legyen, definiálni kell egy olyan keretet, amely a különböző modelleket keretbe foglalja. A szubmikroszkopikus modell legfontosabb eleme tehát a megfelelő interfészek definiálása, a hálózat-járművezető hármass között. Amennyiben ez megvalósul, az egyes alkotóelemeket lehet úgy tervezni, hogy azok tetszés szerint variálhatóak, illetve bővíthetőek legyenek.

Egy egyszerű példa erre az, ha megnézzük két vizsgálati célt: Az egyik a baleseti szituáció vizsgálata, a másik pedig egy kereszteződés forgalmának vizsgálata. Az előbbi esetben a

jármű lehető legmélyebb modellezése a cél, míg a második esetben ez másodlagos.

Az ilyen jellegű modularitás lehetővé tesz olyan vizsgálatok megfelelő sebességgel történő elvégzését, amely a modularitás hiányában túlzottan és főlegesen számolásigényes lenne. Például a kamion „platooning” vizsgálatok végzésekor a járművek környezetében nagyszámú egyéb jármű jelenik meg, amelyek hatással vannak a szabályozásra. Ezeket a járműveket ilyen struktúra mellett lehet kezelni egyszerűbb modellel, míg a ténylegesen vizsgált járműveket bonyolultabb modell felhasználásával.



3. ábra: Logikai adatmodell

5 ÖSSZEFOGLALÁS, TOVÁBBI MUNKA

A cikkben áttekintettük a közúti forgalmi modellezés lehetőségeit, valamint azok felhasználási területeit. Részletesen foglalkoztunk a járműfedélzeti szabályozó rendszereknek, a forgalmi modellekkel szemben támasztott követelményeivel. Megállapítottuk, hogy ezekre a feladatokra a szubmikroszkopikus modellek a legalkalmasabbak. Részletesen kifejtettük a szubmikroszkopikus modellépítés módszerét.

Az eddigi munka egy hosszabb távú kutatás kezdete, amely egy olyan moduláris, szubmikroszkopikus forgalmi modellező keretrendszer kifejlesztését tűzte ki célul, amely rugalmasan kiegészíthető a tesztelni kívánt jármű fedélzeti rendszer modelljével, és alkalmas különböző forgalmi szituációkban történő szimulációra.

6 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben bemutatott kutatásokat az OTKA CNK 78168 pályázat támogatta.

7 HIVATKOZÁSOK

- [1] Greenshields, B.D. (1935) A Study in Highway Capacity; *Highway Research Board. Proceedings, vol.14.*
- [2] Greenberg, H.(1959) An Analysis of Traffic Flow; *Operations Research, vol. 7.*
- [3] Péter, T. (2007) Nagyméretű közúti közlekedési hálózatok analízise; *Innováció és fenntartható felszíni közlekedés, MMA, Budapest*
- [4] Péter,T., Stróbl, A., and Fazekas, S. (2007) Hazai szoftverfejlesztés a nagyméretű közúti közlekedési, hálózatok folyamatanalízisére; *Innováció és fenntartható felszíni közlekedés, MMA, Budapest*
- [5] Bokor,J., and Péter,T. (2006) Járműforgalmi rendszerek modellezése és irányításának kutatása; *A jövő járműve, járműipari innováció, I. évf. 1-2, X-Meditor, Győr, pp. 19-23.*
- [6] Nagel, K., and Schreckenberg, M.(1992) A Cellular Automaton Model for Freeway Traffic; *J. Physique I, 2, 1992, pp.2221-2229.*
- [7] Wiedemann, R., and Reiter, U. (1992) Microscopic Traffic Simulation: The Simulation System MISSION. Background and Actual State; *CEC Project ICARUS (V1052) Final Report, Vol.2 Appendix A. CEC, Brussels*
- [8] Ptv Vision Transportation Planning - PTV - Road Traffic Technology <http://www.roadtraffic-technology.com>
- [9] Hochstädter,A., and Ehmanns,D., and Neunzig, D. (1999) PELOPS as a Tool for Development and Configuration of Driver Assistance Systems; *Euromotor Seminar, Telematic/Vehicle and Environment, Aachen*
- [10]Kachroo, P., and Özbay, K.: Feedback Control Theory for Dynamic Traffic Assignment, *Springer, 1999*
- [11]Piorowski, M., Raya, M., Lugo, A., Papadimitratos, P., Grossglauser, M., Hubaux, J. TraNS: Realistic Joint Traffic and Network Simulator for VANETs; *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, vol. 12, num. 1, 2008, p. 31--33*