

## 3D modellt alkalmazó szoftverrel a nagyméretű hálózatokon

Fazekas Sándor\*, Dr. Péter Tamás\*\*

\*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésautomatikai Tanszék H 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.  
(e-mail: alexanderfazekas@gmail.com)

\*\*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésautomatikai Tanszék  
H 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (tel.: +36-1-4631013, e-mail: peter.tamas@mail.bme.hu)

---

Absztrakt: A cikkben bemutatjuk a szoftveres 3D forgalomvizualizáció folyamatát és a PannonTraffic szoftverünkben alkalmazott makroszkopikus modellel történő együttműködését. Emellett áttekintjük a vizualizáció megvalósításához feltétlenül megoldandó, kapcsolódó feladatokat, beleértve az egyedi járműpéldányok pozíciójának követését, a kereszteződésekben és egyenes szakaszokon az ütközések elkerülésének módját, valamint az egyeni járműpéldányok útkereszteződésekben történő elosztását.

---

### 1. BEVEZETÉS

A tervezőként vagy mérnökként dolgozók alkalmanként szembesülhetnek azzal a problémával, hogy nem elég egy-egy kérdés vagy probléma tudományos megoldása, gyakran az eredményeket laikusok, vagy a témában kevésbé jártas személyek számára is prezentálni kell. Ennek a feladatnak a nehézsége szakterületenként különböző lehet, azonban a megoldások érzékeltetésére általában célszerű elrugaszkodni a hagyományos fogalmaktól, és minél érzékletesebbé tenni a problémára adott válaszokat, legyen szó akár közlekedési vagy az élet más területéről vett témáról.

Nincs ez másképp a nagyméretű közlekedési hálózatok modellezésével sem [1],[2]. A nagyméretű közlekedési hálózatokra vonatkozó modellel megvalósító szoftverünkben, a PannonTraffic [3] alkalmazásban is nagy hangsúlyt fektettünk az eredmények prezentálására. Ennek megfelelően a modell által specifikált szimuláció eredményeit nem csak járműsűrűség-idő, járműmennyiség-idő, sebesség-idő grafikonokon mutatja meg a szoftver a felhasználók számára, hanem a hasonló témájú piaci alkalmazásokhoz hasonlóan 3D-s forgalomvizualizációt is lefuttathat a felhasználó. A forgalomvizualizáció segítségével sokkal jobban lehet érzékeltetni a pillanatnyi forgalmi viszonyokat a modellezett hálózat egy-egy releváns csomópontjára vagy részére koncentrálni.

### 2. A FELADATOK ÁTTEKINTÉSE

A forgalomvizualizáció által igényelt adatok jellege nyilván eltér a makroszkopikus modell által nyújtott számítási eredményektől. Az alábbiakban áttekintjük azokat az adatokat, amelyek a felhasználó által megadott közlekedési hálózati modellből érkeznek illetve a makroszkopikus szimuláció futtatása során kerülnek kiszámításra; továbbá felsoroljuk azokat a struktúrákat, amelyeket a vizualizáció érdekében kell származtatni vagy megbecsülni ezekből.

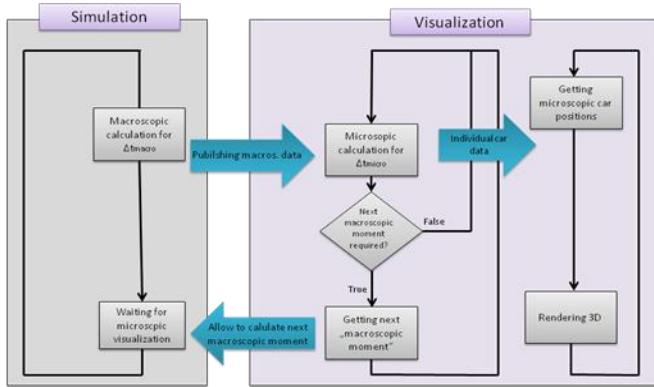
A felvett modellből felhasználásra került a felhasználó által megadott hálózati gráf, amely alapján megtörténik a 3D-s közlekedési hálózat generálása. A felhasznált makroszkopikus modell egyik kimenete az adott szakaszra (sávra, parkolóra) vonatkozó, t időpontra számított járműsűrűség. Ebből az értékből származtatjuk a szakaszra vonatkozó makroszkopikus átlagsebességet. További, makroszkopikus szimulációból érkező adat a közlekedési lámpák adott kapcsolatra és t időpontra vonatkozó állapota – ez vagy a felhasználó által megadott statikus algoritmusú közlekedési lámpa, a modell által számított adaptív működésű [5] vagy ún. peremlámpa lehet. A makroszkopikus modellben eltekintettünk a csomópontokon számított járműsűrűségektől; közvetlenül a forgalomvizualizáció sem igényli ezeket az adatokat, a kereszteződésekben megvalósított ütközésselkerülési algoritmusok állítják elő a kereszteződések telítettségére vonatkozó információt.

A fent felsorolt makroszkopikus jellemzőkkel ellentétben a forgalomvizualizáció egyedi járműpéldányokra vonatkozó adatokat vár, így szükséges az egyedi járművek adott t időpontra vonatkozó pozíciójának és irányának kiszámítása. Ezek kiszámításához szükséges, hogy az animáció minden képkockájának előállításakor rendelkezésre álljon az egyedi sebesség a hálózat minden járművére vonatkozóan, valamint ezen sebességekből származó gyorsulás is. Ezek egyedi számításakor figyelembe kell venni a mikroszkopikus közlekedési adottságokat, hiszen ezekből fakad, a makroszkopikus, egész szakasz összes járművére vonatkozó átlagsebesség és az egyedi példányok sebességének különbsége.

Azért, hogy a forgalomvizualizáció és a makroszkopikus modell eltérő jellegét kezeljük, egy köztes modellt hoztunk létre. Egy mikroszkopikus modellt valósítottunk meg, amelynek feladata, hogy átvegye a makroszkopikus modell adott pillanatra vonatkozó állapotváltozóit, ezek alapján nyilvántartsa és frissítse az egyedi járműpéldányok

sebességét, pozícióját, irányát, és átadja a számított adatokat a forgalomvizualizációnak, amelynek a szimuláció folyamán végzett feladata a mikroszkopikus modell állapotáról készített pillanatkép elkészítésére és a 3D-s kép előállítására redukálódik.

Az alábbi ábra mutatja be a három komponens (a makroszkopikus szimuláció, az erre épülő mikroszkopikus szimuláció, és a 3D képkalkotás) kooperációját, amelynek eredményeképpen előáll a forgalomvizualizáció.



1. ábra: a forgalomvizualizáció folyamatai

A struktúrából látható, hogy a vizualizációs rendszer egyes elemei kicserélhetőek: adott esetben más makroszkopikus modellt, vagy másik vizualizációs felületet is alkalmazhatunk, csak a részegységek közötti interfészekre – a folyamatok között áramló adatokra nézve – vannak kötöttségek. Így például később kifejleszthetünk egy lényegesen kisebb rendszerkövetelményeket támaztó 2 dimenziós megjelenítő alkalmazást.

A folyamat során előálló forgalomvizualizáció „on-line” működésű, azaz nem a makroszkopikus modell lefutását követően előálló, hanem annak futtatása közben megtekinthető folyamat. Az ebből adódó sebességkülönbség orvoslása érdekében a makroszkopikus szoftverben meg kellett valósítani a mikroszkopikus modellel történő szinkronizációt. Előnye a megoldásnak, hogy szabadon mozoghat a felhasználó a vizualizációs térben, mindhárom tengelyen.

### 3. A VIZUALIZÁCIÓ INDÍTÁSAKOR LEFUTÓ LÉPÉSEK

A vizualizáció indításakor lefutó kezdeti lépéseket (a járművek kezdeti pozíciójának kiszámítását kivéve) a folyamat során csak egyszer kell végrehajtani. Ezek a feladatok

- a statikus objektumok (útszakaszok kereszteződések) generálása,
- járműpéldányok kezdeti pozícióinak meghatározása,
- járművek által követhető lehetséges útpályák meghatározása.

A makroszkopikus hálózat modellje a valós hálózatot gráffal írja le, amelyben a gráf csúcspontjai a közlekedési hálózat

csomópontjainak, élei pedig a csomópontokat összekötő útszakaszoknak felelnek meg. Ez az információ önmagában nem elég a vizualizáció számára, hogy az útszakaszokat, kereszteződéseket reprezentáló poligonok koordinátáit kiszámolja, hiszen a modellben a kereszteződések pontszerűek. Emiatt a vizualizációban az útszakaszokat megadó szakaszokat le kell rövidíteni a modellbeli reprezentációjukhoz képest, az egy kereszteződésbe befutó útszakaszok határoló vonalainak metszéspontjait ki kell számolni, és ezek segítségével megadni a kereszteződések kiterjedését. Ebből az algoritmusból adódóan következik, hogy az útszakaszok hosszúsága topológiától függően különböző mértékben lerövidül a vizualizációban.

Mivel ennek a feladatnak a megoldása befolyásolja a járművek lehetséges útpályáit, kanyariveit, a számított metszéspontokról és a makroszkopikus és vizualizációs topológiák különbségei a mikroszkopikus modell számára is lényegesek.

Másik, indításkor megoldott probléma a járművek kezdeti pozícióinak meghatározása: ezzel kapcsolatban két megoldást valósítottunk meg, az egyik esetén a járművek szakaszonként, egymástól egyenlő távolságra, a makroszkopikus modell pillanatnyi sűrűsége szerint helyezkednek el. A másik algoritmus a szakaszok kezdőpontjaitól kezdve tölti fel a sávokat: ennél a verziónál az indítást követően bizonyos időnek el kell telnie a vizualizációban, míg valószerű forgalmat láthat a felhasználó. A kezdeti feladatok közül ez a lépés kivételt jelent annyiban, hogy nem csak a szimuláció elején kell elvégezni: lehetőség van belepörgetni a vizualizációba: ekkor a mikroszkopikus és a makroszkopikus modell közötti kapcsolatot megszakítjuk, és szabadon hagyjuk futni egy ideig a mikroszkopikusnál sokkal jobb performanciájú makroszkopikus szimulációt: az ismételt csatlakozást követően viszont ismét inicializálni kell az egyedi járműpéldányok pozícióit.

Harmadik, inicializáláskor elvégzendő feladatként említhető a járművek lehetséges pályáinak előállítás a hálózat topológiájának és a közlekedési szabályoknak megfelelően. Általánosságban elmondható, hogy az útpályákat másodfokú görbékkel és egyenes szakaszokkal modelleztük. Általánosságban elmondható: a topológiát felhasználva az alkalmazásunk meghatározza az útkereszteződések közötti szakaszok egyenleteit, ezek végpontjaira illeszti a másodfokú görbéket.

Ezzel a lépéssel kapcsolatban megemlítendő az ütközésselkerülés inicializálása: a vizualizáció folyamata során gondoskodni kell a mikroszkopikus modellnek arról, hogy a kereszteződésekben ne történjen ütközés, a járművek pedig elkerüljék egymást lassítással vagy megállással – ugyanis ez az információ explicite nincs benne a makroszkopikus szimulációból érkező adatstruktúrában. Az ütközésselkerüléshez – lásd részletesen később – szükséges foglaltsági gráf ebben a lépésben kerül előállításra a kereszteződés kanyarodásait leíró görbék metszéspontjainak kiszámítása révén.

#### 4. A VIZUALIZÁCIÓ FUTÁSAKOR VÉGREHAJTOTT LÉPÉSEK

A vizualizáció futása közben a makroszkopikus modell pillanatnyi állapotából kiindulva a mikroszkopikus modell periodikusan előállítja az egyedi járműpéldányokra vonatkozó információkat. Ehhez az alábbi feltételezéseket tesszük:

- Minden jármű az előre generált útpályák valamelyikén halad.
- Minden jármű a lehető legnagyobb sebességgel próbál haladni. Ezt a legnagyobb sebességet a közlekedési szabályok korlátozzák, valamint a biztonságos haladás érdekében a többi résztvevő. Modellünkben minden járművezető előre figyel, az ütközések elkerülésében a követési távolság és a sebesség viszonya a döntő. A sebesség változtatásának adott egy maximális értéke, így a lassítás és a gyorsítás fokozatos.

A fentiek ismeretében rátérhetünk az egyedi járműpéldányok haladásának meghatározásának áttekintésére.

Egyenes szakaszon egyszerű az algoritmus: minden járműről nyilvántartjuk az ő előtte lévő gépkocsit, így kiszámítható a követési távolság. Hasonlóan teszünk minden lehetséges akadállyal (például ilyen akadály a közelgő piros lámpa is), így a járművek fokozatos lassítása és gyorsítása egységes, független a közelgő objektum típusától. Ezen távolságok közül vesszük a legkisebbet, mint megállási távolság, és ebből a „követési távolságból” számítjuk ki a célsebességet: azt a sebességet, amiről járművünk még minden körülmény között meg tud állni. A jelenlegi haladási sebességet a célsebesség nagyságának ismeretében a kívánt érték felé módosítja az algoritmus (figyelembe véve a maximális gyorsítást).

Kanyarodás esetén az algoritmus bonyolultabb, mivel egyértelműen nem határozható meg az aktuális jármű előtti gépkocsi. Ugyan az azonos pályán haladó közvetlen előtte lévő kocstól számított követési távolság kiszámítható, a merőlegesen, nagyobb sebességgel haladó járművet is detektálni kellene a valószerű és élvezhető vizualizációs folyamat érdekében. Ennek érdekében az inicializálási lépések végrehajtásakor már felépült minden egyes kereszteződésre a foglaltsági gráf. Ebben a gráfban minden egyes csúcspont egy kapcsolatnak – a vizualizációban ez egy adott sávról a kereszteződésen keresztül másik sávra vezető kanyarív – fel meg. Két csúcspont között a gráfban akkor vezet él, ha a két csúcsponthoz tartozó kapcsolat metszi egymást. Mielőtt egy jármű belépne a kereszteződésbe, megvizsgálja az algoritmus a kereszteződéshez tartozó gráfot: amennyiben a választott kapcsolatot reprezentáló csúcs jelöletlen (szabad), akkor beengedi a járművet a csomópontba, továbbá a csúcsponttal összekötött többi csúcst (t.i. a metsző kapcsolatokat) megjelöli (lefoglalja). Amikor kilép a jármű a csomópontból, akkor törli a metsző csomópontok jelöléseit (felszabadítja a kapcsolatokat).

A tényleges megvalósításban az algoritmus annyiban összetettebb, hogy a jelölések helyett egy  $i$  változót növelünk vagy csökkentünk, ezáltal többszörösen is lehet foglalt egy-egy metsző kapcsolat; továbbá a felszabadítást nem a kereszteződésből történő kilépéskor hajtja végre, hanem már a kanyarív közepén: hiszen ekkor már indulhat a metsző pályán haladó jármű, az ütközés veszélye nem áll fent.

Az ütközések elkerülésén túl gondoskodni kell a megfelelő útvonal tervezéséről, azaz egy egyenes szakasz végén meg kell határozni azt a kapcsolatot, amelyen a jármű folytathatja útját. A makroszkopikus modellben ez értelemszerűen nem jelentett feladatot: az  $\alpha$  tényező segítségével történt meg a kanyarodási valószínűségek leírása. Ezzel szemben a mikroszkopikus modellünkben olyan nemdeterminisztikus elosztásra volt szükség, amely révén a referencia-modellként szolgáló makroszkopikus modellnek megfelelően változik a hálózat állapota. Ehhez a belső szakaszok makroszkopikus járműsűrűséggel analóg módon bevezettük a mikroszkopikus szakaszok járműsűrűségét, amely a szakaszon tartózkodó járművek hosszainak összegének és a szakasz hosszának a hányadosa. Így már megfogalmazható a járművek elosztásának fő követelménye a vizualizációban: azok a kapcsolatok nagyobb valószínűséggel kerülnek kiválasztásra, amelyek célsávján számított mikroszkopikus sűrűség kisebb, mint ugyanezen szakaszhoz tartozó járműsűrűség a makroszkopikus modellben. Amennyiben a célszakaszok bármelyikén a makroszkopikus sűrűséghez képest többlet van, akkor ezek közül annak a célsávnak legyen nagyobb valószínűsége, amelyen ez a többlet kisebb. Természetesen a közlekedési szabályokat, és a hálózatban makroszkopikus szinten figyelembe vett elosztási trendeket is figyelembe kívánjuk venni, ezért a célsáv választásának valószínűsége függ az  $\alpha$  tényezőtől is.

$$P_{ij} = \frac{(\rho_{\text{makro } j}(t) - \rho_{\text{vizualizáció } j}(t) + 1) * \alpha_{ij}(t)}{\sum_{k=1}^j (\rho_{\text{makro } k}(t) - \rho_{\text{vizualizáció } k}(t) + 1) * \alpha_{ik}(t)}$$

2. ábra: a járművek elosztásának valószínűségei a vizualizációban

#### 5. TOVÁBBI FEJLESZTÉSEK

Az aktuális megvalósítást számos irányba fejleszthetjük tovább.

A jelenlegi rendszerben az egyedi járművek viselkedése azonos, nincsenek figyelembe véve az egyéni vezetési habitusok, a járművek különbözősége is pusztán a méretbeli differenciákra terjed ki. A jövőben érdekes lehet egyedi vezetési stílusok implementálása. Erre a jelenlegi struktúra kiválóan alkalmas.

Az útpályák előzetesen történő tervezéséből adódó előny, hogy a vizualizációs folyamat futása során kisebb a számítási igény, hátránya azonban, hogy az esetleges előzések, kikerülések nehézséget okozhatnak, emiatt a jelenlegi megvalósításban nem is láthatunk kikerüléseket, előzéseket. Ezért a jövőben érdekes lehet ezeknek a viselkedéseknek a kifejlesztése is. Egyik lehetőség az, hogy megengedjük, hogy a járművek letérjenek az előre generált útvonalakról az előzős időtartamig; másik megoldás lehet, hogy az útszakaszok

pályán kívül előzési helyeket, előzési, kikerülési görbéket is generálunk az inicializáló folyamat lefutásakor.

További irány a közlekedési szabályok automatikus felismerése és alkalmazása, sávváltások implementálása. A makroszkopikus modell értelem szerűen nem kezeli például a jobbkéz-szabályt, és pillanatnyilag ennek detektálása és alkalmazására a mikroszkopikus modellünkben sem történik meg.

## 6. ÖSSZEFOGLALÓ

A cikkben részletesen áttekintettük a forgalomvizualizáció főbb kérdéseit, a válaszokat pedig a saját rendszerünk továbbfejlesztésével kivitelezett megoldásokkal szemléltettük. Áttekintettük, hogy szoftverünkben hogyan valósítottuk meg a hálózat elemeihez tartozó koordináták generálását, az egyedi járműpéldányok pályájának meghatározást, valamint makroszkopikus modell által explicite nem szolgáltatott, de a megjelenítéshez feltétlenül szükséges adatok becslését – így az egyedi járműpéldányok lehetséges pozíciójának és sebességének meghatározását, ütközések elkerülését. A továbbfejlesztési irányokkal kapcsolatban áttekintettük a 2 dimenziós megjelenítés kidolgozásának fontosságát, a mikroszkopikus és a makroszkopikus modell közös állapotváltozói közti különbségek meghatározását és informatív kijelzését. A jövőben elképzelhető egyedi járműviselkedések, különböző vezetési stílusok implementálása.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatási munkát a SIEMENS Zrt. támogatta a Siemens és a BME Pro Progressio Alapítvány együttműködésével, a hallgatói szakmai körök számára kiírt pályázat keretében.

A kutatás a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség és az OTKA (OTKA CNK 78168) támogatásával jött létre.

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

## IRODALOM

- [1] Péter T., Bokor J.: Járműforgalmi rendszerek modellezése és irányításának kutatása. A jövő járműve, Budapest, 06, 1-2 pp. 19-23.
- [2] Péter T., Bokor J.: Nagy méretű közúti közlekedési hálózatok nemlineáris modelljének kapcsolati hipermátrixa, A jövő járműve, 1-2. Budapest, 2007
- [3] Péter T., Stróbl A., Fazekas S.: Hazai szoftverfejlesztés a nagyméretű közúti közlekedési hálózatok folyamatanalízisére, Budapest, 2007 Magyar Mérnökakadémia: Innováció és Fenntartható Felszíni Közlekedés Konferencia, <http://kitt.uni-obuda.hu/mmaws/>
- [4] Péter T., Stróbl A., Fazekas S.: Speciális matematikai modellt alkalmazó szoftver, optimális útvonalak meghatározására. Budapest, 2009. Magyar Mérnökakadémia: Innováció és Fenntartható Felszíni Közlekedés Konferencia IFFK 2009. <http://kitt.uni-obuda.hu/mmaws/>
- [5] Péter T.: Csomópontok optimális működtetése közúti közlekedési hálózatban, a matematikai modell tárgyalása. KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE LX. évfolyam:(1.) pp. 27-33. Paper 1. (2011)
- [6] Péter T.: Csomópontok optimális működtetése közúti közlekedési hálózatban, a számítási eredmények vizsgálata. KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE LX. évfolyam: (2) pp. 4-14. Paper 1. (2011)
- [7] Péter T., Stróbl A., Fazekas S.: Szoftverfejlesztés eredményei, a nagyméretű közúti közlekedési hálózatok analízisére és tervezésére. A Jövő Járműve, III: (3-4).