

Nagyméretű hálózati folyamatok 3D vizualizációja

Fazekas Sándor*, Stróbl András**, Péter Tamás***

BME Közlekedésautomatikai Tanszék

*(e-mail: alexanderfazekas@gmail.com)

***(e-mail: strobl.andras@gmail.com)

***(e-mail: peter.tamas@mail.bme.hu)

Összefoglalás: A dolgozat összefoglalja a PannonTraffic szoftver forgalom vizualizációval kapcsolatos fejlesztéseit. Áttekintjük, hogy milyen architektúrális megfontolások játszottak fő szerepet a szoftver tervezésénél, milyen kapcsolat van a makroszkopikus szimuláció és a mikroszkopikus forgalomvizualizáció között. Kitérünk arra, hogy a vizualizáció során milyen algoritmusokkal következtetünk a makroszkopikus modell által nem meghatározott, de az egyedi járműpéldányok pozicionálása szempontjából lényeges jellemzőkre; hogyan előzzük meg az egyedi járműpéldányok ütközését a sávokon valamint a kereszteződésekben, és milyen nemdeterminisztikus módszerrel osztjuk szét a gépjárműveket a kereszteződésekben, mi alapján választjuk ki a következő kapcsolatot és útszakaszt.

1. BEVEZETÉS

A közlekedési dugók hatalmas károkat okoznak, mind anyagi értelemben, mind a környezetre vonatkozóan; tekintet nélkül arra, hogy fejlődő ország közlekedési viszonyait vagy a fejlett világ közötti közlekedési hálózatait vizsgáljuk. Az Európai Unióban a közlekedési dugók által okozott veszteség évi 20 milliárd euróra tehető [A közúti közlekedés társadalmi és gazdasági költségeinek a meghatározása Dr. Bokor Zoltán, Dr. Mészáros Ferenc, Dr. Török Ádám Bagi Zsófia, Hokstok Csaba, Markovits-Somogyi Rita OTKA CNK78168 - CONTRA]. A közlekedési hálózatok gondos tervezése, vizsgálata optimalizációja tehát mindenképp fontos, ennek érdekében pedig célszerű szoftveres megoldásokat is igénybe venni.

Egy, a feladat vizsgálatára alkalmas szoftvercsomag a PannonTraffic, amelyet azért fejlesztettünk ki, hogy valós szimulációs feladatokon alkalmazhassuk a nagy méretű nem lineáris közlekedési hálózatok modellezésére alkalmazható matematikai modellt [1]

A szimulációs eredmények bemutatásakor korántsem mindegy, hogy az eredményeket csak grafikonokkal és hatalmas adathalmazokkal kívánjuk-e reprezentálni, vagy 3D-s animációval érzékeltetjük is a makroszkopikus modell és a hálózat pillanatnyi állapotát és az állapotok változásait.

PannonTraffic rendszerünk korábbi verziója már képes volt a szimulációs adatokat többek között járműsűrűség-grafikonok formájában megjeleníteni [2], azonban ezek a megvalósítások nem feltétlenül könnyítették meg a hálózat állapotának globális felmérését.



1. ábra - PannonTraffic Visualization

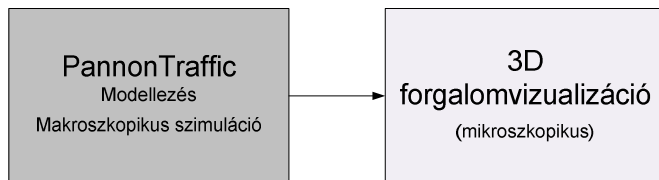
Ezért vált időszerűvé, hogy 3 dimenziós forgalommegjelenítést építsünk be a szoftverbe. Ehhez az ingyenesen alkalmazható MOgre 3dimenziós keretrendszert használtuk fel.

2. ARCHITEKTÚRA

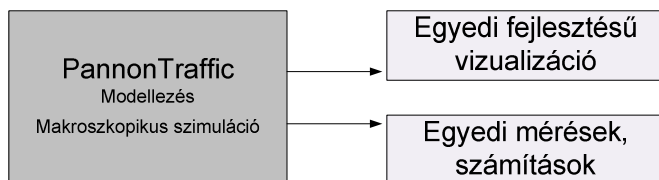
Architekturális és performancia szempontjából is előnyös, hogy ezt a forgalomvizualizációt nem a szimulációs rendszerbe integráltuk, hanem egy külső alkalmazást fejlesztettünk ki a feladatra. A megjelenítés során a vizualizációs alkalmazás mikroszkopikus jellemzőkre következtet a makroszkopikus modell állapotából, amelyet egy erre a célra kifejlesztett interfészen keresztül kérdez le a szerverként funkcionáló szimulációs alkalmazástól.

Ennek az architektúrának előnye, hogy a 3 dimenziós megjelenítés teljesen különvlik a szimulációtól, az akár egy másik számítógépen is elhelyezhető – amely például a vizualizáció szempontjából erősebb erőforrásokkal rendelkezik. Emellett a vizualizációs rendszer és a szimulációs alkalmazás cserélhetővé is vált: később bárki implementálhat saját fejlesztésű 3D vizualizációt, amelyet a

szimulációs alkalmazáshoz csatlakoztatva saját, egyedi implementációjú forgalomábrázolásokat, vagy méréseket és számításokat végezhet el; vagy az elkészített forgalomvizualizációt a saját szimulációs rendszerénél használja fel. Ehhez pusztán arra van szüksége, hogy az új rendszerek is képesek legyenek az előírt interfészen keresztül kommunikálni.



1. 2. ábra - Architektúra



3. ábra - Egyedi komponensekkel bővíthető az alkalmazás

A fentiekből az is látszik, hogy nem kell a vizualizációnak feltétlenül együtt futnia a szimulációval: ennek megfelelően az elkészített rendszerben lehetőség van arra, hogy úgymond „belepörgessen” a felhasználó a vizualizációba: ekkor a vizualizáció kikapcsol, és a matematikai modellt megvalósító algoritmus szabadon futhat, amíg el nem éri a kívánt modellidőt. Ekkor a vizualizáció ismét inicializálja a járműpéldányok helyzetét és sebességét a makroszkopikus adatok alapján

3. FORGALOMVIZUALIZÁCIÓ

Ahhoz, hogy a 3D forgalomvizualizáció folyamatos forgalmat jeleníthessen meg, nem szolgáltat elég információt a makroszkopikus model. Ebből adódóan a vizualizációnak „okos kliensként” kell viselkednie, mikroszkopikus jellemzőkre kell következtetnie: az egyedi járműpéldányok ugyanabban az időpillanatban más-más sebességgel haladnak a forgalomvizualizáció során, annak ellenére, hogy a makroszkopikus modellben a sávhoz egyetlen, az adott járműsűrűségből, a maximális megengedett sebességből és a sáv más szakaszokhoz történő kapcsolódásából számított átlagos sebeséget rendelünk.

További feladat a kliens számára, hogy a kereszteződésekben a vizualizáció közben megakadályozza az ütközéseket. A makroszkopikus szimuláció alatt csak közelíteni tudjuk az elsőbbségi viszonyokat: a modell alkalmazása során akkor is történhet átadás, ha a keresztező irányú forgalom ezt nem tenné lehetővé. A 3D vizualizáció folyamán viszont kifejezetten zavaróan hat, ha a járművek keresztezik egymást, „összeütköznek” a kereszteződésben. Emellett nyilvánvaló, hogy a forgalom mikroszkopikus megjelenítése függ a

topológiától és a kereszteződések geometriájától, ennek kezelésére azonban nem tér ki a matematikai modell. Ezért a vizualizáció egyik lényeges eleme az ütközések elkerülése a járművek kooperációja. Ezzel egyúttal ellenőrizhetővé is válik a felhasználó által készített modell: amennyiben a vizualizáció során nagy eltéréseket tapasztal a modell állapotával szemben, érdemes a hálózati gráf kapcsolatait áttekinteni és szükség esetén módosítani azok elsőbbségi viszonyait meghatározó β -tényezőket.

4. A JÁRMŰVEK POZÍCIÓJÁNAK MEGHATÁROZÁSA

Makroszkopikus modellünk a járművek egyik szakasról másikra történő átadásánál a járműsűrűség változását számítja ki [1]: ebből adódóan egy Δt idő alatt megtörtént járműszámváltozás nagy valószínűséggel nem egész értékű, sőt, matematikai értelemben egy célsávra akár több forrásszakasról is érkezik jármű, amennyiben a kapcsolatok ezt lehetővé teszik. Ezt természetesen a valóságban – és emiatt a 3d vizualizációban is így kívánjuk megvalósítani – úgy jelenik meg, hogy az ugyanarra a célsávra dolgozó kapcsolatok közül egyik időpillanatban az egyik sáv ad át járművet, később pedig a másik szakasról érkezik a gépjármű. Akkor modelleztük megfelelően a hálózatot, ha ezek a hatások hosszú távon kiegyenlítik egymást: ekkor nem lesz számottevő különbség a makroszkopikus és a mikroszkopikus vizualizáció között hosszabb futás esetén sem.

1.1 A 3d-s világ generálása

A vizualizáció az elindításakor lekérdezi a makroszkopikus modelltől a hálózati gráfot leíró adatszerkezetet, és ebből generálja le azt a poligonhálót, amelyek az utakat, sávokat jelenítik meg. Ezen kívül lehetőség van a szoftverrel egyedi objektumok – házak, fák, közlekedési táblák, jellegzetes műtárgyak - hálózatban történő elhelyezésére is.



4. ábra - Egyedi objektumok adhatóak hozzá a hálózat 3d-s reprezentációjához (épületek, villamos)

1.2 A járművek pozíciójának nyilvántartása

A járművek pozíciójának nyomkövetésre több lehetőség kínálkozott. Ez megoldható lett volna a hagyományos X és Y (esetleg Z) koordináták adminisztrálásával, és ennek egy-egy az aktuális sebességből illetve sáv irányból számított

irányvektorral történő eltolásával. Ez azonban nagyban megnehezítette volna a járművek mozgatóását: ezekből az információkból csak nehezen határozható meg az, hogy melyik sávon tartózkodik éppen az egyedi példány – erre az információra pedig mindenképpen szükség van a következő célsáv meghatározásánál.

Ezért inkább úgy döntöttünk, hogy a járműpéldány pozícióját egy L sáv vagy C kapcsolat, illetve egy $t [0; 1]$ paraméter írja le. Az aktuális L vagy C értéke meghatározza, hogy a modell melyik elemén tartózkodik éppen a járműpéldány, a t pedig megadja, hogy az objektumhoz tartozó görbe melyik részén tartózkodik, mekkora utat tett már meg az objektumon. A görbe adott pozícióhoz tartozó meredekségéből pedig meghatározható az a szög, amellyel a 3d járműmodellt el kell forgatni.

1.3 A vizualizáció indítása

A vizualizáció indításakor illetve újrainicializálásakor meg kell határozni a kliens alkalmazásnak az egyedi járműpéldányok kezdeti helyzetét. Ekkor –egyéb adat híján – feltételezzük a kialakult forgalom homogenitását: az egymást követő járművek egy adott sávon ugyanakkora távolságra követik egymást az első vizualizációs időpillanatban. A kereszteződésekbe illetőleg a kapcsolatokra tehát nem kerül járműpéldány a vizualizáció újrainicializálásakor, a makroszkopikus modellhez képest tehát itt “extra hely” áll rendelkezésre, azonban a tapasztalat szerint ennek az extra kapacitásnak ellenére is jóval mérsékeltbb forgalom tapasztalható a vizualizációban, mint a modellben.

1.4 A gépjárművek pozíciójának frissítése a sávokon

Ezt követően másodpercenként lekérdezi a vizualizációs alkalmazás a makroszkopikus, sávhoz tartozó átlagsebességet, ezt pedig a sávon tartózkodó összes jármű egyfajta célsebességeként állítja be. Ez után minden járműpéldányra megvizsgáljuk, hogy a jelenlegi célsebesség tartható e, nem ütközik e neki a gépjármű az előtte haladónak, vagy nem megy-e át a piros jelzésű közlekedési lámpán: ha tartható a célsebesség, és megegyezik a jármű jelenlegi sebességével, akkor nincs szükség a sebesség módosítására. Ha a jármű célsebessége nagyobb, mint a jelenlegi sebessége, akkor növeljük azt, ha kisebb a célsebesség, akkor pedig csökkentjük a jármű sebességét. Amennyiben minden sáv minden egyes járművének sebességét frissítette a rendszer, és a később tárgyalásra kerülő, kereszteződésekben megtörténő sebességfrissítés is megtörtént - akkor megtörténik a 3D-s modellelemek pozíciójának újraszámolása és módosítása. Amennyiben egy jármű elhagyja az aktuális sávot, azaz a t -vel paraméterezett sávgörbén t már kellően közel van 1-hez, egy esemény generálódik az alkalmazásban, amely jelzi a rendszernek, hogy a további pozíciókat más algoritmussal kell meghatározni.

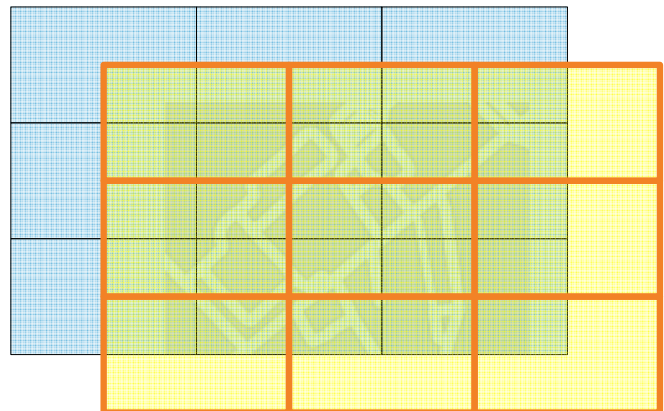
1.5 A gépjárművek pozíciójának frissítése a kereszteződésekben

A vizualizáció folyamán a járművek a kereszteződésekben is előre legenerált útpályákon mozognak. A jelenlegi megoldásban ezt a pályát – durva közelítéssel – másodfokú görbével adtuk meg.

A pálya meghatározásán kívül fontos feladat az ütközésvizsgálás. Mivel a makroszkopikus modell keretein belül erre nincs lehetőség, a feladatot a vizualizációnak kellett megoldania.

Az elkészített megoldás lényege, hogy egyfajta “prediktív ütközésvizsgálót” végzünk. Minden járműre becslést készít a rendszer arra vonatkozóan, hogy a következő pár másodpercben milyen pozícióba kerülhet az adott példány. Ettől a lépéstől kezdve az ütközésvizsgálás valójában a jövőbeli pozíciókra vonatkozó ütközésvizsgálás.

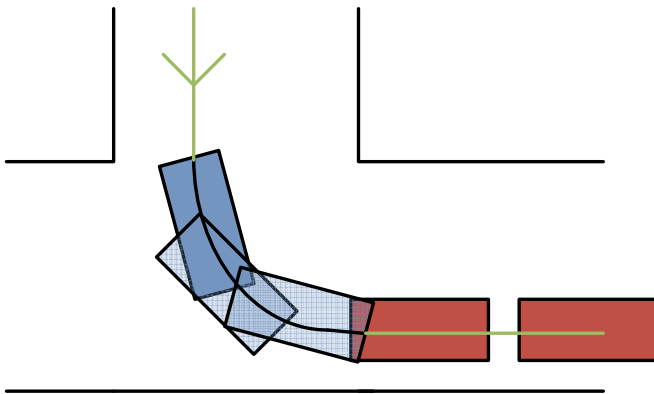
A páronként elvégzendő ütközésvizsgálót négyzetesen növekedő futásidején úgy próbáltunk enyhíteni, hogy egymást átfedő zónákra osztja az alkalmazás a rendelkezésre álló területet. A járművek haladásakor az egyes zónákba be- illetve kiregisztrálnak. Emiatt az előzőeket ki kell egészíteni: az L sáv vagy C kapcsolat, valamint t görbeparaméter mellett minden járműre nyilván kell rendelni azokat a $Z_1, Z_2, Z_3 \dots Z_n$ zónákat is, amelyekben épp tartózkodik a jármű.



5. ábra - A hálózatot generálásakor átlapolódó zónákra osztjuk, az ütközésvizsgálót pedig zónánként végezzük el

Sajnos a fenti megoldás azzal jár, hogy egy-egy párra többször is el kell végezni az összehasonlítást, de elképzelhető olyan hálózati gráf, ahol a kereszteződés középpontja zóna-határra esik, vagyis – amennyiben nem átlapolódó zónákat határoznánk meg, akkor - a zónánként vett ütközésvizsgáló eredménye nem egyezne meg az ideális, globálisan számított ütközésvizsgáló eredményével.

Az ütközésvizsgáló megvalósítására két megoldás kínálkozott. Az egyik lehetőség a kanyaríveket leíró görbék metszéspontjának kiszámítása volt. Az alkalmazás ekkor kiszámítja páronként a járművek jövőbeli pozíciók metszésponttól vett távolságát. Amennyiben ezek kritikusan közel vannak egymáshoz, akkor az egyik jármű (ez függhet az adott forrás vagy célszakasztól, de akár a kapcsolatok β -tényezőitől is) célsebességét 0-ra állítjuk. Így azonban az alábbi ábra által bemutatott ütközést az alkalmazás nem tudta volna detektálni.



6. ábra - Ütközésetektálás - a kanyarív végpontja után várakozó járművet nem tudjuk detektálni a görbék metszéspontjainak kiszámításával

A fenti eseten kívül ez a megoldás akkor sem megfelelő, amikor a járművek a kanyarívben torlódnak fel.

Az ütközésvizsgálatot az egyszerűség kedvéért körlapok átfedésével vizsgálja a rendszer: minden járműobjektum a következő pár másodpercre feltételezett pozícióját beregisztrálja a korábban említett zónába, az alkalmazás pedig ezen körlapok átfedéseinek vizsgálatával dönti el, hogy a jövőben ütközni fog-e a két jármű. Ha igen, akkor a megfelelő jármű célsebességét 0-ra állítja.

Továbbfejlesztési lehetőségként szóba jöhet a következő: zónák helyett járműpéldányonként megvizsgáljuk a következő időszak útpályáját: a következő és az azt követő kereszteződésbe regisztráljuk be a jövőbeli pozíciókat. Ekkor kereszteződésenként kell megvizsgálni az egymást fedő körlapokat, ezáltal az ütközésselkerülés szempontjából teljesen lényegtelenné válik az, hogy a jármű éppen sávon tartózkodik, vagy éppen kanyarodik, és minden speciális helyzet kezelhető lesz. Ebben az esetben a hálózat zónákra történő felosztása teljesen elhagyható.

1.6 Járművek elosztása

A makroszkopikus modell járműsűrűségei tehát közvetlenül csak az első pillanatokat határozzák meg. Ezt követően annak eldöntése, hogy az egyes járműpéldányok merre haladnak a keresztezésekben, nemdeterminisztikus. Azonban a lehetséges célsávok eloszlása függ a makroszkopikus modellben megadott járműelosztási tényezőktől és a sávok t időben számított sűrűségétől. Összességében annak valószínűsége, hogy egy jármű az i -k sávról a j -ikre halad tovább a vizualizációban, a

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

minden k -ra, amely kapcsolatban van i -vel.

formula alapján történik, ahol $\rho_{\text{vizualizáció } j}(t)$ a vizualizáció t -ik pillanatában megjelenített j -ik sávon lévő sűrűsége, $\rho_{\text{makro } j}(t)$ a makroszkopikus modell j -ik sáv sűrűségének t -beli értéke, $\alpha_{ij}(t)$ az ij kapcsolat t -ben lévő alfája, az összegzés pedig a sávról elérhető (topológiailag kapcsolatban álló) sávokon megy végig.

A fenti összefüggést az motíválja, hogy két tényezőtől függ a jármű haladási iránya. Egyrészt függ a járművek makroszkopikus modellbéli elosztásától: szeretnénk azt elkerülni, hogy egy-egy, a modellben nem túl aktív kapcsolatot a vizualizációban gyakran használjanak a járművek, ezért szerepel a számlálóban $\alpha_{ij}(t)$. A másik tényező a modellbéli makroszkopikus sűrűségek és a vizualizáció béli, származtatott sűrűségek különbsége, azaz a makroszkopikus és a mikroszkopikus állapotok "távolsága". Ezzel azt kívánjuk elérni, hogy egy-egy jármű kereszteződéshez történő megérkezésekor azok a kapcsolatok nagyobb valószínűséggel aktivizálódjanak amelyek segítségével a vizualizációs, mikroszkopikus számítások során kapott sűrűségek és a szimulációs sűrűségek közti különbség csökkenthető, azokat a kapcsolatokat pedig "büntessük", amelyek célsávján már az átadástól függetlenül is a kelleténél nagyobb a sűrűség.

1.7 Mikroszkopikus modell

Megállapítható, hogy a forgalomvizualizáció egy olyan mikroszkopikus modell, amely a statikus hálózati jellemzőkön túl a makroszkopikus szimuláció pillanatnyi állapotjellemezőit is megkapja input paraméterként. Mivel az így kapott járműsűrűségek más tényezőket vesznek figyelembe, mint a matematikai modell esetén, alkalmas lehet a vizualizáció a makroszkopikus hálózati modell ellenőrzésére: amennyiben a vizualizáció és a szimuláció az együttfutás esetén nem tér el egymástól túlságosan, vélhetően megfelelően, a valósághoz kellően "közel" modelleztük a hálózatot. Ellenkező esetben azonban nem lehet biztos következtetéseket levonni: a vizualizáció és a makroszkopikus modell által nyújtott eredmények közötti túlságosan nagy eltérések esetén nem vonhatóak le következtetések arra vonatkozóan, hogy a modellezés pontatlansága, vagy az automatikusan generált 3d-s világ esetlensége (kereszteződések kiterjedése, egyedi kanyarodási ívek forgalomra gyakorolt, ámde elhanyagolt hatása) okozza az eltéréseket.



7. ábra - Pannon Traffic 3D

5. IRODALOMJEGYZÉK

[1]. Péter Tamás: Nagyméretű nemlineáris közlekedési hálózatok modellezése Közlekedéstudományi Szemle LVII.:(9) 322-331 (2007)

[2]. Péter Tamás – Stróbl András – Fazekas Sándor: Szoftverfejlesztés eredményei, a nagyméretű közúti közlekedési hálózatok analizésére és tervezésére. A jövő járműve, III: (3-4).