

Forgalomirányító rendszerek zárt hurkú szimulációja

Tettamanti T.*, Luspay T.**,
Varga I.**

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki kar, Közlekedésautomatikai Tanszék, Budapest, H-1111 Bertalan Lajos utca 2., (e-mail: tettamanti@mail.bme.hu).

** MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet, Budapest, H-1111, Kende u. 13-17., (e-mail: tluspay@sztaki.hu, ivarga@sztaki.hu)

Összefoglalás: A korszerű forgalomirányítási stratégiák, és szabályozások alapos teszteléséhez zárt hurkú közúti szimulációs rendszerre van szükség. Jelen publikációban egy olyan általunk fejlesztett módszert mutatunk be, amely segítségével különböző közúti hálózatokon, különböző forgalmi szabályozó rendszereket lehet felépíteni és elemezni. A zárt hurkú szimulációs rendszer valósághűen képes bemutatni a korszerű forgalomszabályozó algoritmusok hatását, segít azok hangolásában. A rendszer alkalmazhatóságát egy alternatív autópálya-forgalomirányító rendszer felépítésével vizsgáltunk. Az eredményeink egyértelműen igazolják a szimulációs rendszer hatékonyságát és bizonyítják alkalmazhatóságát a közúti forgalomirányító rendszerek fejlesztési folyamatában.

1. BEVEZETÉS

A motorizációs ráta folyamatos növekedésének következtében mára a közlekedéstudomány egyik legfontosabb kutatási területe az adaptív forgalomszabályozási módszerek kidolgozása, és ezen keresztül a közúti torlódások és hatásainak megelőzése.

A témával kapcsolatosan számtalan modern szabályozási technika került kidolgozásra az elmúlt években. A publikált stratégiák általában egy vagy több irányítási módszer alapos kidolgozásán, ill. összehangolásán alapulnak. A szabályozások tesztelését azonban ritkán végzik validált forgalom-szimulációs szoftverben, aminek legfőbb oka, hogy - jóllehet számos forgalommodellező program létezik - komplexebb irányítási módszerek implementálására általában nem képesek.

Jelen publikációnkban az általunk létrehozott zárt hurkú mikro-szimulációs keretrendszert mutatjuk be, amely alkalmas közúti hálózatok és forgalmi szabályozó rendszerek együttes vizsgálatára, elemzésére. A forgalom modellezése VISSIM mikro-szimulációs szoftver alkalmazásával történik. A forgalomszabályozási algoritmusok MATLAB tudományos-matematikai szoftverben kerülnek megvalósításra elsősorban komplexitásuk miatt. A két szoftver eszköz kommunikációját és az egész rendszer működését az általunk fejlesztett keretrendszer biztosítja. A zárt hurkú szimulációs rendszer felhasználásával valóság-közeli módon lehet korszerű forgalomszabályozási módszereket tesztelni és behangolni. A rendszer hatékonyságát és alkalmazhatóságát egy általunk kidolgozott autópálya-forgalomirányító stratégia tesztelésével vizsgáltuk. Az eredmények egyértelműen igazolják, hogy keretrendszer jól alkalmazható közúti forgalomirányító rendszerek fejlesztési folyamatában.

2. ZÁRT HURKÚ KÖZÚTI SZIMULÁCIÓS KERETRENDSZER

2.1 Forgalommodellezés

Hatékony irányítási stratégia tervezésekor olyan városi vagy közúti hálózatrész modellezésére van szükség, amely valósághű paraméterekkel rendelkezik, így a szabályozó rendszer tesztelése is releváns eredményekkel szolgálhat. Egy számítógéppel modellezett hálózaton bármilyen forgalmi szituációt generálhatunk. Így mód nyílik a rendszer viselkedésének pontosabb megismerésére, valamint a szélsőséges esetek vizsgálatára. Megfigyelhetjük, hogy a tervezett rendszer mennyire képes a zavarok kompenzálására. Ilyen zavar lehet például egy váratlan esemény, amittől rövid idő alatt az átlagosnál jóval nagyobbra nő a forgalom nagysága a hálózat egy-egy pontján vagy szakaszán. A szimuláció tehát elengedhetetlen eszköze a rejtett hibák felfedezésének, amelyre csak a gyakorlatban derülne fény. Így hatékonyabb és stabilabb irányítási rendszer kerülhet kialakításra.

A számítástechnika előretörésével párhuzamosan számos forgalom-szimulációs szoftvert készítettek az elmúlt 10-15 évben, amelyek között egyaránt vannak makroszkopikus és mikroszkopikus forgalmi modelleken alapuló programok. A makroszkopikus szoftverek nagy számítási teljesítményűek, de a modell szerkezeténél fogva kevésbé alkalmasak a közlekedési folyamatok részletes vizsgálatára. Ezzel szemben a mikroszkopikus forgalom-szimulációs szoftverek a járműviselkedés individuális megközelítésén alapulnak. A szimulált közlekedési hálózat működése így elemi szinten vizsgálható, és képi megjelenítésük is valósághű. Ezen előnyei miatt az általunk felépített keretrendszerben is mikroszkopikus szoftvert alkalmazunk. A felhasznált mikro-szimulációs program a VISSIM (VISSIM *User Manual*, 2005), amely a forgalom-

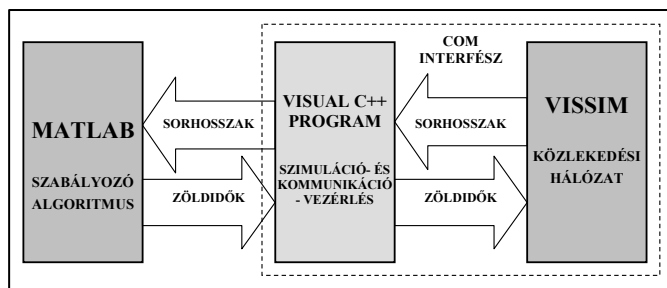
tervezői szakmában nemzetközileg elismert és alkalmazott szoftver (Fellendorf *et al.*, 2001). A VISSIM képes több csomópontból álló hálózat szimulációjára, és megengedi külső logika alkalmazását az irányítási folyamatokban. Ez utóbbi különösen fontos feltétel, mivel a komplexebb szabályozó algoritmussal dolgozó rendszerek olyan matematikai művelet sorozat elvégzését teszik szükségessé, amely már egy tudományos-matematikai szoftvert is igényelhet. A VISSIM ezen kívül igen jó grafikus megjelenítésre képes, így három dimenzióban is megfigyelhető a modellezett hálózat viselkedése. A program „motorja” az ún. pszicho-fizikai járművezető-viselkedési modell, amelynek elméleti háttérét a Wiedemann járműkövetési modell adja (Wiedemann, 1974).

2.2 Forgalomirányítási algoritmus

Az irányítási stratégia tervezésének másik fontos eleme, hogy a kidolgozott irányítási algoritmust a modellezett teszhálózaton „üzembe helyezzük”. Az egyszerűbb szabályozó algoritmusok általában közvetlenül kódolhatók az adott forgalom-szimulációs szoftveren belül. Azonban ezek a programok nem alkalmasak összetettebb szabályozási algoritmusok befogadására, így ilyen esetben külső program alkalmazására van szükség. A külső program többféle programozási nyelven elkészített alkalmazás is lehet. A keretrendszerünkben MATLAB-ot (MATLAB, 2008) használunk a szabályozási kód elkészítésének eszközeként. A MATLAB tudományos-matematikai szoftver alkalmazásának oka, hogy matematikai műveletek egyszerű programozását kínálja, valamint számos olyan beépített függvényt tartalmaz, amely különösen jól alkalmazható modern irányításelmélet alapú problémák megoldásához.

2.3 Szimulációs keretrendszer

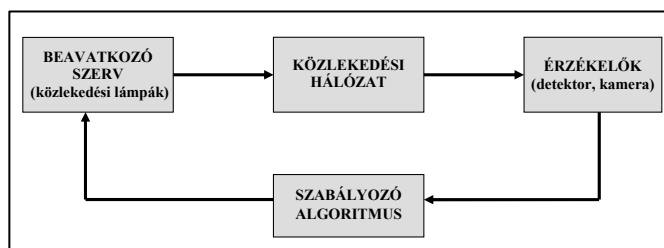
Az általunk fejlesztett szimulációs keretrendszer magába foglalja az irányítási stratégia és forgalom modelljét, amelyhez a MATLAB és a VISSIM programokat használjuk. A szoftverek közötti kommunikációt csak indirekt módon lehet megvalósítani, mivel a VISSIM-mel „kívülről” csak COM (Component Object Model) felületen keresztül lehet kommunikálni (VISSIM COM *User Manual*, 2005). A COM interfész egy Microsoft által kifejlesztett technológia a komponens alapú fejlesztés támogatására, mely a szoftverek közti kommunikációt teszi lehetővé. Bár több platformon is megvalósították, elsősorban a Microsoft Windows operációs rendszerében használják.



1. ábra: Kommunikáció a keretrendszer szoftverei között

A keretrendszer szoftverei közötti kapcsolat és a szimulációs folyamat vezérlésére egy külön alkalmazás megírására is szükség volt. A program megírásához a Microsoft Visual C++ programnyelvet (VISUAL C++, 2008) használtuk. Az így kialakított zárt hurkú szimulációs rendszert az 1. ábra szemlélteti. A rendszer működtetésekor a vezérlő program elindítja a VISSIM-ben elkészített hálózati modell szimulációját. Az alkalmazás képes hozzáférni a szimuláció forgalomtechnikai adataihoz (forgalomsűrűség, átlagsebesség, jelzők állapota, stb.), és azokat a MATLAB által is elérhető számítógép-memóriába helyezi. A szabályozási algoritmus lefutása után előállnak a hálózat számára létrehozott szabályozó jelek (pl. fázisidők), amiket a MATLAB szövegfájlba helyez. A C++ alkalmazás pedig COM interfészen keresztül az új fázisidőknek megfelelően módosítja a forgalomirányító berendezések fázisidőit.

A keretrendszer által biztosított szabályozási kör felépítését a 2. ábra szemlélteti.



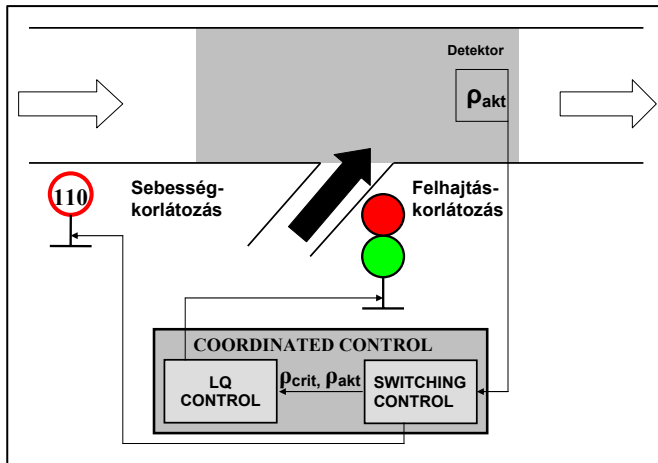
2. ábra: A szabályozási kör

3. PÉLDA A SZIMULÁCIÓS KERETRENDSZER ALKALMAZÁSÁRA

Példaként a kidolgozott keretrendszer alkalmazására egy dinamikus autópálya-forgalomirányító rendszer fejlesztését mutatjuk be röviden.

Számos stratégia és módszer került kidolgozásra az elmúlt évtizedben az autópálya-forgalomszabályozás témakörében. Az eddig kidolgozott technikák általában egy-egy szabályozási módszeren alapulnak. A különböző algoritmusok összehangolt működtetésével azonban tovább fokozható az irányítás hatáshatása, ami a gyorsforgalmi utak esetében a kapacitáskihasználás megnövelését jelenti leginkább.

A keretrendszer segítségével összehangolt autópálya-forgalomirányító stratégia kifejlesztését végeztük (Tettamanti *et al.*, 2008). Olyan adaptív rendszer létrehozását céloztuk meg, amely alkalmazásával javítható a gyorsforgalmi utak kapacitáskihasználása, ill. lassítható vagy akár elkerülhetővé tehető a torlódások kialakulása. A módszer lényege, hogy összehangolva működtet két különböző, külföldön már gyakorlatban is alkalmazott szabályozási módszert: felhajtókorlátozást és változtatható sebességkorlátozást. Az összehangolt rendszerben a felhajtás-korlátozó egy LQ szabályozó, a változtatható sebességkorlátozó pedig egy kapcsoló szabályozás (3. ábra).

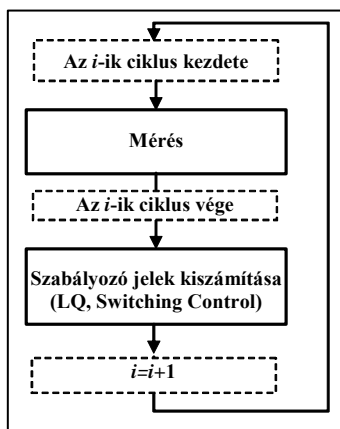


3. ábra: Összehangolt autópálya-forgalomirányítás

A felhajtó-korlátozás lényegében az autópályára felhajtani szándékozó járművek szabályozását jelenti. Az autópályán elérhető maximális forgalomnagyság biztosítása érdekében, a felhajtókon hagyományos, kétfogalmú jelző berendezéssel szabályozható a beáramló járművek száma. Az összehangolt rendszerben a felhajtás-korlátozó egy LQ szabályozó (Papageorgiou *et al.*, 2003).

A sebességkorlátozást egy kapcsoló szabályozó vezérli, amely 70, 90, 110 és 130 [km/h]-ás sebességhatárok kijelzésére képes. Folyamatos mérések alapján igyekszik a forgalmat a fundamentális diagram stabil tartományában tartani (Siebel *et al.*, 2005). A kisebb sebességhatárok beiktatásával a forgalom stabil tartománya kiterjeszhető.

Az összehangolt szabályozás lényege, hogy az átlagsebesség csökkentésével egyidejűleg a követési távolságok is rövidülnek. Így amennyiben redukáljuk az autópályán megengedett maximális sebességhatárt, a járműsűrűség értéke megnő. Sűrűsödő forgalmi viszonyok esetén ezzel a módszerrel megakadályozható, rosszabb esetben lassítható a torlódás kialakulása, mivel a lassú vagy lassabb haladás még mindig hatékonyabb, illetve pszichológiailag is jobb hatással van a járművezetőkre, mint bármilyen torlódás, amely gyakori fékezés-sel, elindulással jár.



4. ábra: A program lefutás folyamata

A szabályozó algoritmus lefutásának folyamatát a 4. ábra szemlélteti. A program ciklusideje 60 másodperc.

A szabályozás hatékonyságának vizsgálatához, és a felhasznált elmélet igazolásához a rendszer modellezésére és szimulációjára volt szükség. Ehhez az általunk fejlesztett zárt hurkú mikro-szimulációs környezetet használtuk fel. A keretrendszer alkalmazásával a szabályozók könnyen behangolhatóvá váltak, és rejtett hibáit is sikerült felfedni. Az így kapott szimulációs eredmények jól reprezentálják az összehangolt irányítási stratégia hatékonyságát.

4. KÖVETKEZTETÉS

A számítástechnika fejlődésével a modellkészítés ma már a mérnöki munka alapvető részévé vált, bármilyen szakterületről is legyen szó. A modellek segítségével olyan szimulációk, tesztek végezhetők, amelyek segítségével az elvégzendő munka várható eredményei előre láthatóvá válnak. Az előre nem látható hibák egy része ugyanakkor már a szimulációs fázisban kiszűrhető.

A példában bemutatott autópálya-forgalomirányító rendszer fejlesztése során a szimulációs keretrendszert hatékonyan tudtuk felhasználni. A rendszer természetesen városi forgalomirányító stratégia fejlesztésére is ugyanúgy felhasználható.

A publikációban bemutatott zárt hurkú szimulációs keretrendszer alkalmas arra, hogy bármilyen közúti közlekedési hálózat, ill. szabályozó rendszer tervezési folyamatát végigkísérje, és modellezésének alapjául szolgáljon.

A magyar közúthálózaton még elég korlátozott mértékben használnak komplexebb algoritmust alkalmazó forgalomszabályozást. Ugyanakkor a motorizáció egyértelmű növekedési tendenciája és a torlódások rendszeres megjelenése, előre vetíti a modern forgalomszabályozás szükségességét, aminek megfelelő alapjául szolgálhat a bemutatott keretrendszer.

IRODALOM

- Bellemans T., De Schutter B., De Moor B. (2002). *Models for traffic control*. Technical report bds: 01-11 Delft University of Technology, Fac. of Information Technology and Systems.
- Fellendorf M., Fortisch P. (2001). *Validation of the microscopic traffic flow model VISSIM in different real-world situations*. PTV Planung Transport Verkehr AG.
- MATLAB (2008). www.mathworks.hu, The MathWorks Inc.
- Microsoft Visual C++ (2008), www.msdn.com, Microsoft Corporation.
- Papageorgiou M., Diakaki C., Dinopoulou V., Kotsialos A., Wang Y. (2003). *Review of road traffic control strategies*, Technical University of Crete, Greece, Proceedings of the IEEE, vol. 91, no. 12.
- Roca V. (2005) VISSIM COM, *User Manual for the VISSIM COM interface*, PTV Planung Transport Verkehr AG.

- Siebel F., Mauser W. (2005). *On the fundamental diagram of traffic flow*. Department of Earth and Environmental Sciences, University of Munich, Luisenstraße 37, D-80333 Munich, Germany.
- Sun X., Horowitz R. (2006). *A set of new traffic-responsive ramp-metering algorithms and microscopic simulation results*. Transportation Research Records (TRR), the Journal of the Transportation Research Board.
- Tettamanti T., Luspay T., Varga I. (2008). *Összehangolt autópálya-forgalomirányító rendszer vizsgálata zárt hurkú mikro-szimulációs környezetben*. VII. Alkalmazott Informatika Konferencia, Kaposvár
- VISSIM 4.10 (2005) *User Manual*, www.vissim.de, PTV Planung Transport Verkehr AG.
- Wiedemann R. (1974). *Simulation des Straßenverkehrsflusses*. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 8.