

Autópálya forgalomszabályozás felhajtókorlátozás és változtatható sebességkorlátozás összehangolásával és fejlesztési lehetőségei

Tettamanti Tamás, Varga István, Bokor József

BME Közlekedésautomatikai Tanszék

1111 Budapest, Bertalan Lajos. u. 2. Z ép. V. em. 506.

tettamantitamas@gmail.com

Absztrakt

Jelen cikkünkben egy olyan dinamikus autópálya forgalomirányítási módszert ismertetünk, amely két - a gyakorlatban egymástól függetlenül működő - szabályozási módszert összehangolva alkalmaz.

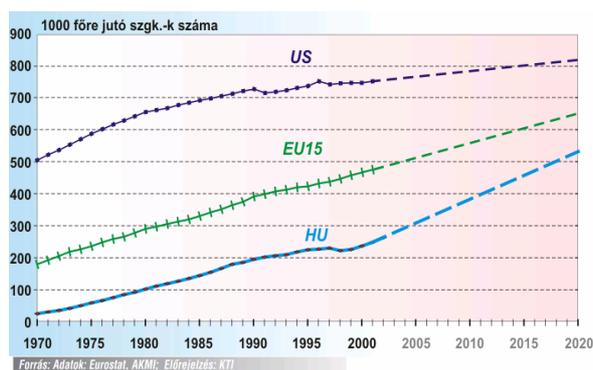
A szabályozó rendszer alkalmazásával jelentősen növelhető a gyorsforgalmi utak kapacitáskihasználása, ill. megakadályozható, rosszabb esetben lassítható a torlódás kialakulása. A módszer elméleti kidolgozásán túl, a gyakorlati megvalósításra is sor került a BME Közlekedésautomatikai Tanszék laborjában, a VTC-3000 ACTROS forgalomirányító berendezés segítségével.

A rendszermodellen végzett szimulációk egyértelműen alátámasztják az összehangolt szabályozás hatékonyságát és bizonyítják alkalmazhatóságát.

Bevezetés

A motorizációs ráta folyamatos és erőteljes növekedése a világ minden táján megfigyelhető jelenség, amely számtalan negatív hatást von maga után. Ennek legmarkánsabb megjelenési formája a mindennapjainkat is egyre gyakrabban terhelő közúti forgalmi torlódások kialakulása, ami természetesen csak primer hatás és további komoly externáliák megjelenéséhez vezet. Az ebből kialakuló, áttételesen megjelenő költségek pedig a társadalom egészét terhelik.

Amennyiben a jelenséget rendszerszemléletben, az utóhatásaival együtt vizsgáljuk, egyértelműen látjuk, hogy egy átfogó problémával állunk szemben, amely várhatóan csak fokozódni fog az elkövetkező évtizedekben (lásd 1. ábra), és éppen ezért sürgős megoldásra vár.



1. ábra: Motorizációs ráta 1970 és 2020 között [1]

A közúti közlekedés e progresszív növekedési folyamatát természetesen nem lehet megakadályozni, így megoldásként leginkább két lehetőség kínálkozik: újabb közúti pályák építése, illetve forgalomszabályozás. Az infrastruktúrabővítés azonban rendkívül drága megoldás, ráadásul bizonyos helyeken hely hiányában meg sem valósítható. A forgalomszabályozás ezzel szemben viszonylag olcsó és hatékony módszer.

A fentieknek megfelelően egy olyan autópálya forgalomszabályozási stratégia kialakítása volt a cél, amely alkalmazásával tovább növelhető a gyorsforgalmi utak kapacitáskihasználása, ill. megakadályozható, rosszabb esetben lassítható a torlódás kialakulása.

Az módszer lényege, hogy összehangolva működött két különböző, külföldön már gyakorlatban is alkalmazott forgalomirányítási módszert: felhajtókorlátozást és változtatható sebességkorlátozást.

A szabályozás hatékonyságának vizsgálatához, a kialakított elmélet igazolásához a rendszer modellezésére és szimulációjára volt szükség, amelyre elsőként Matlab/Simulink környezetben került sor. Ez azt jelentette, hogy a forgalmi modell és a szabályozók is egy személyi számítógépen, egy szoftveren belül kerültek kialakításra.

Második lépésként „real time” működésű rendszert hoztunk létre az ACTROS forgalomirányító berendezés segítségével. Ez esetben is a Matlab szolgáltatta a forgalmi adatokat, a szabályozást viszont egy valódi forgalomirányító berendezés látta el. A Matlab és az ACTROS összekapcsolásával vizsgálhatóvá vált az elméletben kitalált módszer. A szimulációs eredmények mindkét esetben az irányítási stratégia hatékonyságát igazolták.

1. A felhasznált szabályozási módszerek

1.1 Felhajtókorlátozás (ramp metering)

A felhajtókorlátozás lényegében az autópályára felhajtani szándékozó járművek szabályozását jelenti. Az autópályán elérhető maximális forgalom nagyság biztosítása érdekében, a felhajtókon hagyományos jelző berendezéssel (lásd 2. ábra) szándékosan feltartjuk a járműveket, és csak meghatározott időpontokban engedjük őket fel. A felhajtók ilyenfajta szabályozása ugyan várakozási idő és sor kialakulásához vezethet, viszont a feltartott járművek a felhajtás után, illetve általában véve az autópálya hálózatot használók számos előnyhöz jutnak.



2. ábra: Felhajtókorlátozás

A felhajtás-korlátozó rendszerek eddig tapasztalt egyértelmű előnyei:

- hatékonyabb kapacitáskihasználás torlódó forgalom esetén
- növelt biztonság a nem szabályozott felhajtókhoz képest a besorolási szituációkat figyelembe véve
- károsanyag-kibocsátás és üzemanyag-felhasználás jelentős csökkenése a szabályozásnak köszönhető egyenletesebb forgalom nagyságból adódóan
- az átlagos utazási idő csökkenése a hálózat egészét figyelembe véve

1.2 Változtatható sebességkorlátozás

A ma már leginkább LED-es technológiával működő változtatható jelzésekű táblák dinamikus tulajdonságuknak köszönhetően számos forgalomtechnikai feladatra felhasználhatók. Egyrészt számos

információval láthatják el az autópályán közlekedőket, másrészt forgalomirányító jelzőként is működhetnek.

Az autópálya forgalomszabályozás egyik hatékony módszere a változtatható jelzésekű táblákkal megvalósított változtatható sebességkorlátozás (lásd 3. ábra).



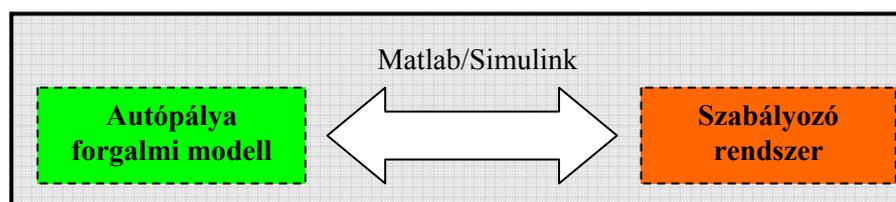
3. ábra: Változtatható sebességkorlátozás

A szabályozás azon alapul, hogy az átlagsebesség csökkentésével egyidejűleg a követési távolságok is rövidülnek [6]. 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 fékezéssel, elindulással jár.

2. Az összehangolt szabályozás

2.1 Szabályozási folyamat

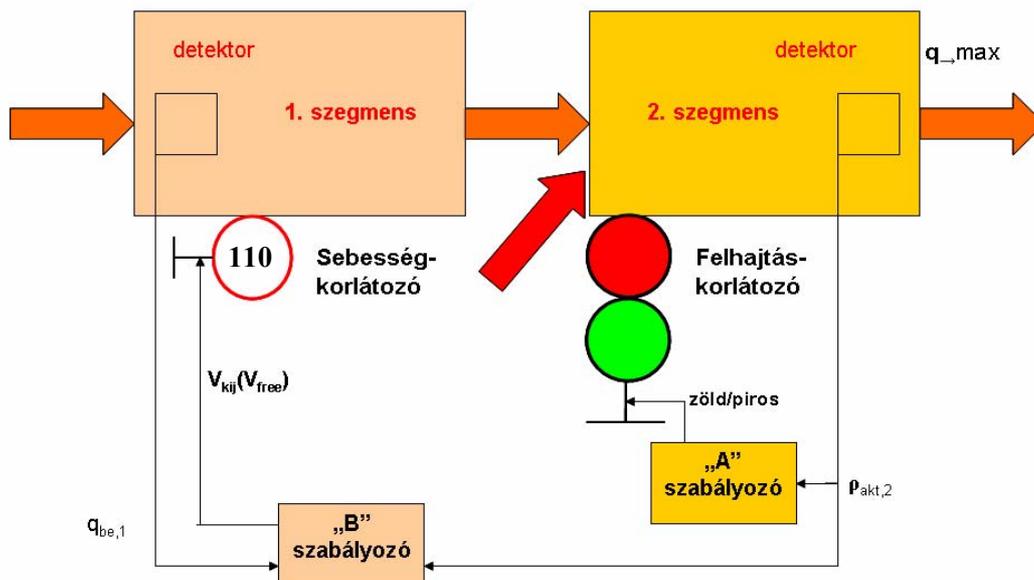
A szabályozás hatékonyságának vizsgálatához modelleket építettünk, elsőként Matlab/Simulink környezetben (lásd 4. ábra).



4. ábra: A rendszermodell felépítése

Egyrészt létre kellett hozni az irányító rendszer modelljét, amely a szabályozók működését reprezentálja. Másrészt egy olyan autópálya szakasz modell felépítésére volt szükség, amely alkalmas különböző forgalomáramlási szituációk szimulálására.

A modellezett autópálya szakaszunk kettő, egyenként 1 kilométeres szegmensből áll. Az 1. szegmensben a változtatható sebességkorlátozást, míg a 2.-ban a felhajtás korlátozót működtetjük szabályozásként (lásd 5. ábra).



5. ábra: A szabályozási szakasz

Mindkét szabályozó a szegmensbeli állapotok stabilitását vizsgálja működése közben. Működésük célja a forgalom stabilitásának megtartása, azaz az aktuális forgalomsűrűség értékének a kritikus érték (ρ_{crit}) alatt való megtartása [5], [9]. A szabályozási ciklusidő 60 másodperc.

Az „A” szabályozó egy felhajtáskorlátozó, amely a Papageorgieu által bevezetett Alinea algoritmus szerint dolgozik [10], azaz egy integrátor-szabályozó. Működését az alábbi egyenlet írja le:

$$r(k+1) = r(k) + K[\rho_{crit,2}(k) - \rho_{akt,2}(k)]$$

ahol:

- $r(k+1) \left[\frac{\text{egységjármű}}{h} \right]$ felhajtó járművek
- $r(k) \left[\frac{\text{egységjármű}}{h} \right]$ felhajtó járművek az előző ciklusban
- K konstans szabályozóparaméter, amely a tapasztalatok alapján a legjobb teljesítményt $K=70$ -nél nyújtja [10]
- $\rho(k) \left[\frac{\text{egységjármű}}{h} \right]$ forgalomsűrűség
- k diszkrét időperiódus

A „B” szabályozó a különböző sebességkorlátozások megjelenítésével tud beavatkozni az autópálya forgalmának folyamatába. A szabályozó minden ciklusban megvizsgálja a szegmensek stabilitását, majd a mért értékektől függően vagy tartja a megelőző sebességkorlátozó jelzést, vagy új sebességkorlátozást jelez ki. A szabályozó 70, 90, 110 és 130 km/h-ás korlátozó jelzések kiadására képes.

2.2 Szabályozási eredmények

A szabályozás eredményességének vizsgálatához kontrollált és nem kontrollált szakaszon egyszerre szimuláltuk az eseményeket, így az eredmények könnyen összehasonlíthatóvá váltak. A szimulációk eredményei igazolták azt a feltevést, hogy a változtatható sebességkorlátozás és a felhajtókorlátozás

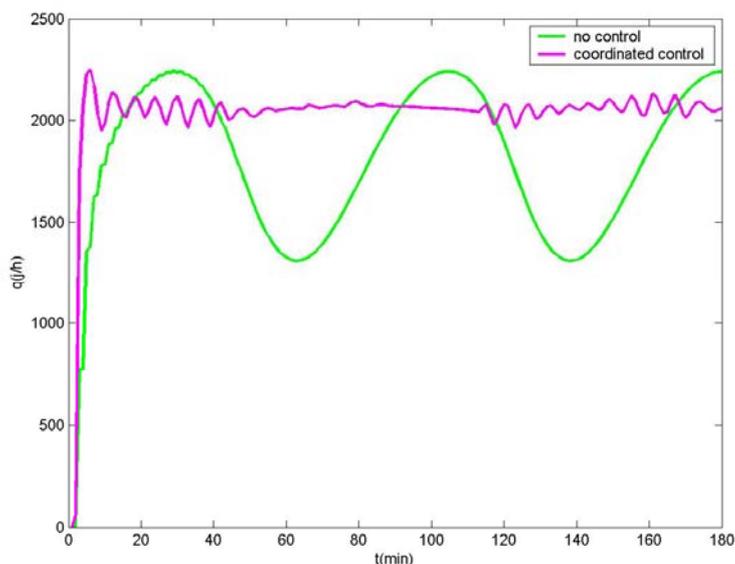
kombinálásával kialakított összehangolt szabályozórendszer nagyban javítja az autópálya forgalomle-folyását.

A két legjellemzőbb forgalomtechnikai paraméter a forgalomnagyság (q) és a felhajtón behaladt jár-műszám (n) egyaránt növekedett a különböző szabályozottságú esetekhez viszonyítva (lásd 1. táblá-zat).

Az összehangolt forgalomszabályozás értékeinek %-os változása	
a felhajtókorlátozás szabályozáshoz viszonyítva	
q_{ki} [ej/h]	n [ej]
+ 4 %	+ 9 %
a sebességkorlátozó szabályozáshoz viszonyítva	
q_{ki} [ej/h]	n [ej]
+ 12 %	+ 25 %
a kontrolálatlan esethez viszonyítva	
q_{ki} [ej/h]	n [ej]
+ 13 %	+ 25 %

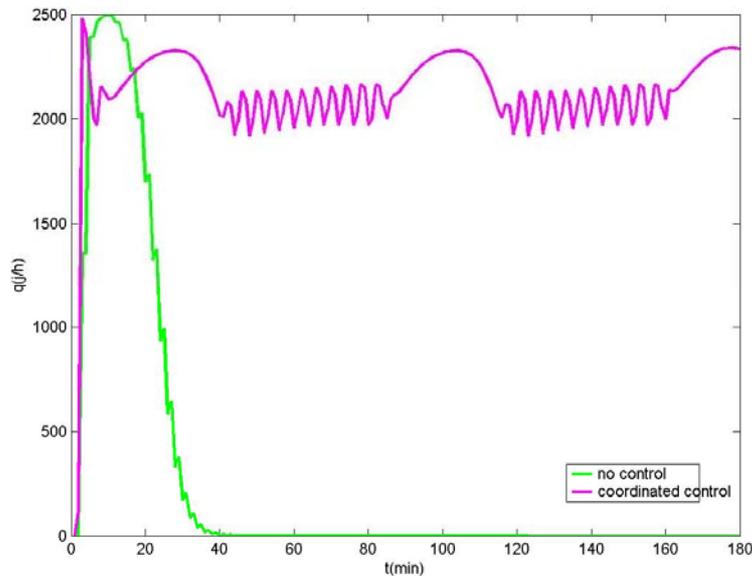
1. táblázat: Az összehangolt forgalomszabályozás paramétereinek %-os változása

Az összehangolt szabályozás másik nagy előnye az áteresztőképesség növelése mellett, hogy ki tudja kompenzálni a szimulációval előidézett nagy forgalomhullámzást (lásd 6. ábra). Ezáltal egy simább forgalomle-folyást lehet elérni, ami a balesetveszély csökkenéséhez is nagyban hozzájárul.



6. ábra: A forgalomnagyság alakulása összehangolt szabályozású és kontrolálatlan szakaszon

A 7. ábra a rendszer működőképességének bizonyítéka. Amennyiben irreálisan nagy terhelést adunk a bemenetre, az irányító rendszer még ekkor is le tudja vezérelni a forgalmat, míg a kontrolálatlan sza-kaszon a forgalom már teljesen összeomlik.

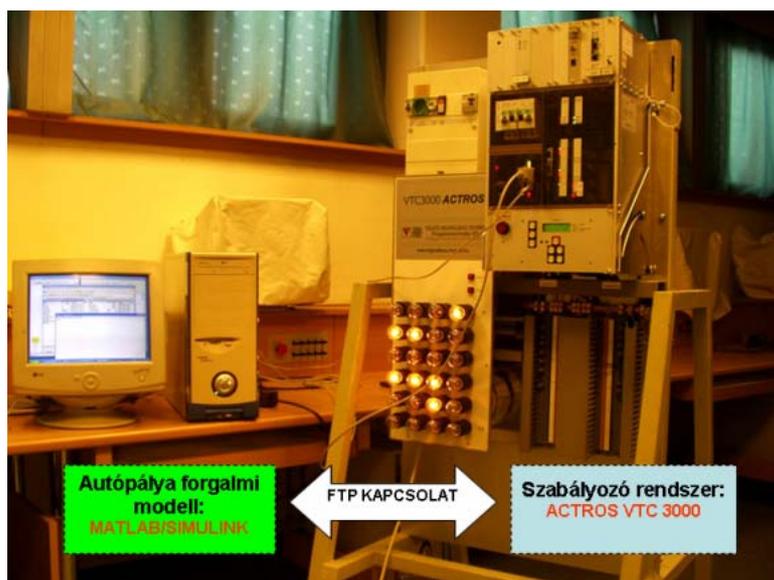


7. ábra: Az összehangolt irányítás által elérhető maximális kapacitás

3. Gyakorlati megvalósítás Matlab-ACTROS rendszer

Az előzőekben bemutatott rendszer kizárólag a Matlab/Simulink környezetben modellezett forgalomáramlás és irányító algoritmus szimulációja volt. Ehhez képest az ACTROS-szal megvalósított rendszer már gyakorlati alkalmazhatóságot kínál. A Matlabra természetesen itt is szükség van a forgalom-szimulálás, azaz a detektoradatok helyettesítése végett. A rendszer egy asztali PC és a forgalomirányító berendezés összekapcsolásával került kialakításra (lásd 8. ábra).

A szabályozást egy valós forgalomirányító berendezésre bíztuk. A rendszer így „real time” működésűvé vált, de a forgalmi paramétereket továbbra is a Matlab modelltől kapta. A Matlab és az ACTROS közötti kommunikáció FTP kapcsolaton folyik.

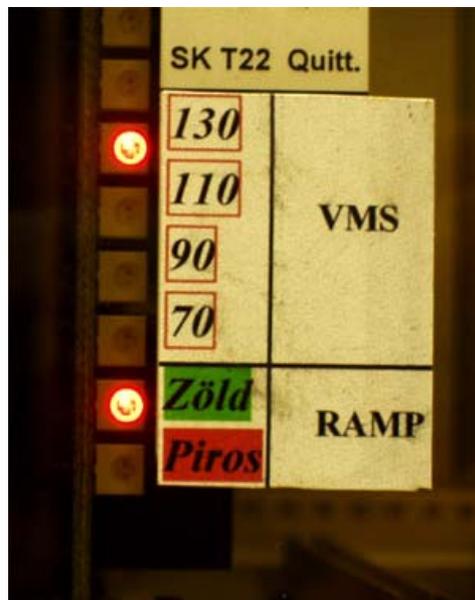


8. ábra: Matlab-ACTROS rendszer

A cél megvalósításához szükség volt az ACTROS-on található Java kódú forgalomtechnika kiegészítésére, mivel az alapból „csak” egy hagyományos közúti csomópont irányításához szükséges kódot

tartalmazott. Így végeredményképpen a berendezés párhuzamosan képes egy csomópont irányítását és autópálya forgalomszabályozást ellátni.

A 9. ábra a rendszer által kiadott jelzések figyelhetőek meg, amelyeket valós jelzőberendezések hiányában az I/O kártya LED-jei jelenítenek meg.



9. ábra: A szabályozók jelzései

A „real time” módon lefutott szimuláció eredményei megközelítőleg megegyeznek a teljes mértékben Matlabbal megvalósított szabályozási kör által produkált értékekkel.

4. Továbbfejlesztési lehetőségek

A kialakított rendszer számtalan olyan továbbfejlesztési lehetőséget tartogat magában, amivel hatékonyabbá lehet tenni a működést.

A szabályozás vizsgálatához alkalmazott autópálya modellünk alapvetően minden lényeges forgalomtechnikai jellemzőt tartalmaz, és jól közelíti a valóságot. A még pontosabb szimulációs eredmények elérése érdekében azonban a jövőben az ACTROS a VisSim forgalomszimulációs szoftverrel kerül összekapcsolásra.

A kialakított rendszerben működő felhajtáskorlátozó szabályozó egy - Alinea algoritmus alapján működő - integrátor. A hatékonyabb szabályozás elérése érdekében azonban kifinomultabb módszereket is lehet alkalmazni. Ilyen például az LQ optimális irányítás vagy a Modell Predictive Control.

A vizsgálatunk során egy rövidebb szakasz modelljén alkalmaztunk összehangolt szabályozást. Mivel az eredmények a szabályozás hatékonyságát mutatták, érdemes a valóságnak jobban megfelelő, hosszabb utak összehangolt szabályozásával foglalkozni. Ez egyben egy átfogóbb szabályozási stratégia kialakítását jelenti.

Nemzetközi tendenciaként megfigyelhető, hogy a különböző forgalomszabályozási technikák jövőbeli fejlesztési alternatíváit leginkább a különböző módszerek összehangolt alkalmazása jelenti. Ennek jegyében készült a fentiekben kifejtett irányító rendszer is, amely további szabályozó rendszerekkel összehangolva (pl. útvonalajánlás, utazási idő kijelzés) komplex rendszer létrehozását tenné lehetővé.

Összefoglalás

A magyar autópályákon még elég korlátozott mértékben használnak forgalomszabályozást. Ugyanakkor a motorizáció egyértelmű növekedési tendenciája, és a most még leginkább városi forgalomban jellemző torlódások megjelenése, előre vetítik ezen eszközök létjogosultságát.

Célunk egy lehetséges stratégia megvalósításával bemutatni a modern autópálya forgalomirányítás hatékonyságát. A felépített rendszer megfelelően reprezentálja a szabályozás működését, és bizonyítja alkalmazhatóságát, amely jelentősen javítaná az autópályák hatékonyabb kapacitás kihasználását és jó kiindulási alapja lehet bármilyen más hasonló célú fejlesztésnek.

A szimulációs eredmények nyilvánvalóan eltérhetnek a valós életbeli forgalmi szituációktól, de mindenképpen irányadóak a hatékonyság javítása szempontjából. Összességében tehát elmondható, hogy bármilyen – jól működtetett - irányítási forma, eredményesen használható a forgalomkapacitás növelésére. Az ismertetett összehangolt szabályozással pedig még további javulást lehet elérni az önmagukban alkalmazott irányító berendezésekhez képest.

Irodalomjegyzék:

- [1]. A Közlekedéstudományi Intézet Kht. honlapja: Trendek - grafikus adatbázis: http://www.kti.hu/downloads/trendek/1_140_HU.jpg
- [2]. Markos Papageorgiou, Christina Diakaki, Vaya Dinopoulou, Apostolos Kotsialos, Yibing Wang: Review of road traffic control strategies, Technical University of Crete, Greece, Proceedings of the IEEE, vol. 91, no. 12., 2003.
- [3]. Rebecca Pearson, Justin Black, Joe Wanat: Ramp metering, 2001.: www.calccit.org/itsdecision/serv_and_tech/Ramp_metering
- [4]. Xiaotian Sun, Roberto Horowitz: A set of new traffic-responsive ramp metering algorithms and microscopic simulation results, University of California, Berkeley, 2006.
- [5]. T. Bellemans, B. De Schutter, B. De Moor: Anticipative model predictive control for ramp metering in freeway networks, Proceedings of the 2003 American Control Conference, Denver, Colorado, pp. 4077-4082, 2003.
- [6]. A. Hegyi, B. De Schutter, and J. Hellendoorn: Optimal coordination of variable speed limits to suppress shock waves, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 6, no. 1, pp. 102-112, Mar. 2005.
- [7]. T. Bellemans, B. De Schutter, and B. De Moor: Models for traffic control, Journal A, vol. 43, no. 3-4, pp. 13-22, 2002.
- [8]. Xiaotian Sun, Roberto Horowitz: Localized switching ramp metering control with queue length estimation and regulation and microscopic simulation results, Department of Mechanical Engineering University of California at Berkeley, Berkeley, CA 94720-1740, USA, 2005
- [9]. Florian Siebel and Wolfram Mauser: On the fundamental diagram of traffic flow, Department of Earth and Environmental Sciences, University of Munich, Luisenstraße 37, D-80333 Munich, Germany, 2005.
- [10]. Lianyu Chu, Xu Yang: Optimization of the ALINEA ramp-metering control using genetic algorithm with micro-simulation California PATH, ATMS Center, Institute of Transportation Studies, University of California, Irvine, Irvine, CA 92697, 2003.
- [11]. Dr. Péter Tamás- Dr. Bokor József: Járműforgalmi rendszerek modellezése és irányításának kutatása. A jövő járműve, 1-2. Bp. 2006. pp19-23.,
- [12]. Tamás Péter Fuzzy and Anytime Signal Processing Approaches for Supporting Modeling and Control, 3rd International Conference on Computational Cybernetics 2005 April 13-16, 2005, Mauritius, pp. 6.