

A pályaértékelés, áthaladási útvonalak választásának vizsgálata, az utak tesztelési értékei

Péter Tamás*, Hány András**, Szauter Ferenc***, Lakatos István****

* Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (e-mail: peter.tamas@mail.bme.hu)

** Autóipari Próbapálya Zala Kft. (e-mail: andras.hany@apnb.hu)

*** Győri Széchenyi István Egyetem (e-mail: szauter@sze.hu)

**** Győri Széchenyi István Egyetem (e-mail: drlakatosi@gmail.com)

Abstract: A kutatási munka közvetlenül a hálózati áthaladás vizsgálatára irányul a járműdinamikai és vezetési tesztelési programok tervezésére, továbbá szélesebb körben a tesztpályák minősítésére alkalmazható. Az általános modellezés mellett vizsgálja a hurkok kialakulását is, amely az egyes részútvonalak többszörös figyelembe vételét szolgálja. Ennek hasznosítási területe az összetett igénybevételek átfogóbb analízise, továbbá a tanulólgoritmusok fejlesztése is, amely a pálya egyes részein egy mérésorozaton belül a többszörös áthaladás ismétlésével biztosítható és a járművek fedélzeti rendszerinek fejlesztését szolgálja. Az anyag a pálya geometriai gráfjának - és részgráfjainak alkalmazásán keresztül mutatja be a matematikai modellezést. Kitér a nagyméretű hálózati modell kapcsolati mátrixából kinyert Markov modell tulajdonágainak bemutatására is. Ez által, a modellezést kiterjeszti a nagyméretű hálózati modell kapcsolati mátrixának alkalmazására is. Computer-algebrai program elkészítésével mutatja be az egyes modellezési, számítási részleteket. A modellezés és számítások eredményei a továbbiakban, a megfelelő súlyok alkalmazásával és a valós ZalaZone pálya geometriájának és a kialakított SmartCityt pályarész figyelembevételével, tesztprogram tervező és kiértékelő módszer fejlesztését teszi lehetővé a továbbiakban.

1. BEVEZETÉS

A kutatási munka közvetlenül a hálózati áthaladás vizsgálatához kapcsolódik, a járműdinamikai és vezetési tesztelési programok tervezésére, szélesebb körben pedig a tesztpályák minősítésére alkalmazható az EFOP-3.6.2-16-2017-00016 kutatási témában.

A járműipari tesztpályához kapcsolódó kutatási feladatokon belül kiemelt terület a pálya-képességek elemzése. A munka a pálya képességek elemzéséről szolgálja az autonóm járművek teszteléséhez és egy új és hatékony módszert eredményez.

Az autonóm járművek tesztelésénél egyaránt fontosak a dinamikus pályaelemek és a városi pályaelemek is, hogy ezek együtt, a legmagasabb szinten képviseljék a valós környezet komplex hatásait!

A vizsgálataink szempontjából komoly jelentőséggel bír az is, hogy ennél a komplex problémánál lecsökkentsük a számítások bonyolultságát.

Ezért, olyan módszerre teszünk javaslatot amely, I. vagy meglévő tesztpálya esetében valamely szempontrendszer mellett állít össze optimális tesztprogramot és kiválasztja a célnak megfelelő legjobb trajektóriák összességét, vagy II. a pályák tervezésének fázisában, meghatározza az adott célokra a legjobb trajektóriák összességét.

Ez utóbbi, irányt szabhat az újra tervezéshez és az eljárás algoritmikus módszereket is nyújt a pályamodellek szerkezetének tervezéséhez.

2. A TESZTPÁLYÁK TERVEZÉSÉVEL KAPCSOLATOS VIZSGÁLATOK

Az autonóm vezetési technológiák fejlesztésére jelentős figyelmet fordítanak, széleskörű kutatást és validálást végeznek a járműrendszerek autonómiájának és biztonságának tesztelésére, I. Passchier, G. v. Vugt, and M. Tideman. (2015). A tesztpályát úgy tervezik, és úgy építik meg, hogy szimulálja a valóságos környezetet az előre látható kockázatokkal együtt, R. Chen, M. Arief, D. Zhao (2018), tehát a vizsgálatoknál a trajektóriáknak hűsége és rugalmasan kell alkalmazkodni a valósághoz. Ezek az előnyök már több világszínvonalú CAV létrehozásához vezettek, pl. T. Stevens. (2017), Harman (2017), Mcity Test Facility, (2018), D. Muoio. (2018)., ACM. Project (2018). A tervezésnél azonban a CAV értékelési elméletének a bizonyítása, nem igen szerepel még az irodalomban. Erre mutattak rá és dolgozott ki matematikai modellt R. Chen, M. Arief, D. Zhao (2018). Valóban fontos a CAV azon képessége, hogy olyan térbeli, terepi körülmények között működjön, amelyekkel rendszeresen találkoznak az autonóm járművek a valós helyzetekben. Ilyenek pl., a közúti szabályok betartása, e-mellett, a többi járműre és úthasználókra, valamint a gyakran felmerülő veszélyekre történő reagálások is.

Az ilyen esetek vizsgálata a CAV képességellenőrzési listához vezetnek, amely a CAV rendszerekre vonatkozó értékelési kritériumként használható, C. Nowakowski, S. E. Shladover, C.-Y. Chan, and H.-S. Tan. (2015), Torc. (2018),

R. Chen, M. Arief, D. Zhao (2018). Megállapításaik alapján, a CAV bizonyítás erejét hatékonynak tekinthetjük, ha széles körű lefedettséget nyújt a meghatározott viselkedési kompetencia-tesztek esetében a korlátozott térben!

Először értékelték olyan szisztematikus megközelítést, amely optimális modellt alkalmaz abból a célból, hogy maximalizálja a CAV értékelés bizonyításának tesztelési képességét. Munkájuk, egy olyan szisztematikus bizonyítás-tervezés végrehajtása volt, amely felismerte a CAV értékelés kihívásait és célja az volt, hogy segítse a CAV bizonyítás alapjait a tesztelési képesség és a rugalmasság maximalizálására. A tervezési megközelítés célja tehát olyan forgatókönyvek feltérképezése az adott térben, amelyek maximalizálják a CAV értékelési képességét. A kutatások két szempontból fontosak: 1) Nem világos, hogy jelenleg, hogyan osztályozzák és választják ki a tipikus forgatókönyveket valamely nagyszabású valós vezetési adathalmazból; 2) Nem világos jelenleg, hogyan lehet ezeket a forgatókönyveket és a bizonyításokat térképezni.

Az általuk megszabott feladatban, egy tesztelésre alkalmas forgatókönyv engedélyezéséhez, olyan térképeket kellett rajzolniuk, az utak és a kereszteződések csoportjából, amelyek támogatják, ezen útelemlátalkozások pontos csatlakozásának megvalósítását az értékelés-tervezésben. Ezen kívül, egy ún., „értékmérték” is definiálható hozzá, amely bemutatható és felhasználható az úthasználat értékeléséhez. Nagyon fontos megállapítás, hogy az **úteszközök értéke, támogatja a sokoldalúságot, a több forgatókönyvbeli használhatóságot és támogatja a forgatókönyvek általánosságát is.**

A módszer tehát egy forgatókönyv-alapú optimalizálási megközelítés, amely a CAV analízisre vonatkozik. Ez magában foglalja a pályatervezést. A trac c találkozási fogalmát arra használja, hogy meghatározza a figyelembe veendő közúti eszközöket, mint a CAV teszt alapvető építő elemeit. Ez a struktúra lehetővé teszi a forgatókönyv-alapú képességek értékelését és a közvetlen kapcsolat alapú, rugalmas értékelést a CAV területén. A tervezési probléma, egy általános, nemlineáris optimalizálási probléma, amely a CAV tesztelési és értékelési feladatokkal kapcsolatos igényes, de nagyon komplex feltételrendszerrel bír. Ezért, eleve kétfázisú optimalizálási modellként történik a tárgyalása.

A javasolt módszer két fázisban foglalható össze.

Az 1. fázisban a megvalósítható útszakasz részhalmazából, a legmagasabb összetettségű eszköztérképet képviselő halmaz kerül kiválasztásra az összes előzetesen előállított út adathalmazból.

(Ez tehát, a legértékesebb megvalósítható alcsoport kiválasztásának modellje a korlátozások szigorú értelemben történő figyelembe vételével.)

A 2. fázisban az előre kiválasztott halmaznál, az adott értékelési térben optimalizálás történik, figyelembe véve a forgatókönyveknél az átmenetekre vonatkozó rugalmasságokat is. (Ez tehát az optimalizációs modell, amely tekintetbe veszi az előre kiválasztott optimális készletet, és az a cél, hogy maximális legyen mind elem-

számban, mind az elemek értékét tekintetbe véve a cálfüggvény értéke).

A felírt modell alapján, a meghatározott optimalizációs eljárás NP problémára vezet, továbbá amelynél néhány korlátozó feltétel sem konvex! Ennél a módszernél, a túlzott számú bináris változók és a nemlineáris korlátok alkalmazása, jelentős mennyiségű elágazási folyamatot és relaxációs megoldást igényelt, amely a legnagyobb számítási teherre vált. Az ebből adódó számítási bonyolultság miatt, tovább kell dolgozni a problémák kezelésén.

3. AZ ÁLTALUNK KÖVETETT ÚJ MODELLEZÉSI MEGFONTOLÁSOK ÉS A MÓDSZER

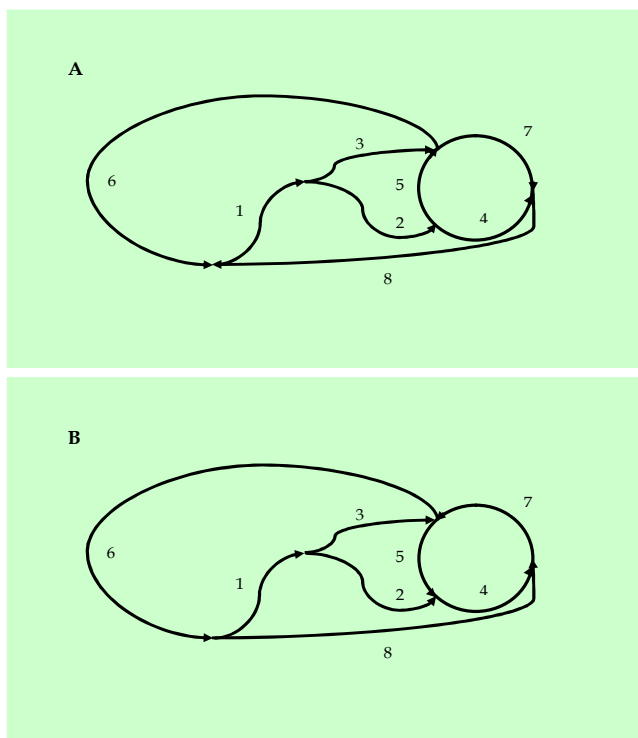
Az előző fejezetben láttuk alapján, az áttekintett irodalmakban a szerzők bemutattak egy tervezési eljárást, korlátozott számú közúti eszköz felhasználásával. Az eredmények azt mutatták, hogy a matematikai felírások hatékonyan irányíthatják a hálózati – Xcity - konstrukciók meghatározását, viszont a módszer az exponenciális számítási komplexitása miatt a gyakorlatban nem alkalmazható és a továbbiakban, - a szerzők megállapításai szerint, szétválasztási módszerek alkalmazása jelentheti a jövőbeni irányt. Az „Xcity” tanulmány egy komplex optimalizációs számításra alapuló, új tervezési módszert tárgyal a tesztpályák előállítására.

Esetünkben, a „Zala Zone” tesztpálya viszont már egy megtervezett és egy éven belül megvalósuló tesztpálya és amely már részben üzemel is. Ez a tesztpálya, a jövő járművei és kommunikációs technológiai számára teljes körű tesztkörnyezetet és többszintű tesztelési lehetőséget biztosít a prototípus tesztekől a szériatermék fejlesztésig. A környezetvédelem és a közlekedésbiztonság növelése céljából egyre inkább előtérbe kerülnek a hibrid-, elektromos- és önvezető autók, amelyek fejlesztéséhez egy megfelelő környezetre van szükség. A pálya lehetőséget biztosít hagyományos járműtesztek elvégzésére, továbbá vezetést támogató rendszerek, valamint önvezető járművek széleskörű tesztelésére és validálására is. Alkalmas továbbá a legújabb infokommunikációs rendszerek fejlesztésére és tesztelésére, továbbá járműipari K+F tevékenységek folytatására. Az első fázis keretén belül a dinamikai felület, a nagysebességű kezelhetőségi pálya, a Smart City Zóna első része került kivitelezésre; ezt követi az autópálya szakasz, különböző országúti szakaszok, a Smart City teljessé építése. 2022 elejéig elkészül az alacsony sebességű kezelhetőségi pálya, az emelkedők, zajmérő felület és az ADAS tesztfelület.

Az Xcity, az útvonalakon megfigyelt tipikus görbedarabokból építkezik – tehát ezekből állítja össze a trajektória típusokat, az-az a teszt útvonalakat. Ez, önmagában is láthatóan igen nagy számítási teljesítményt igényel.

Tekintsük most a „Zala Zone” tesztpályát, - mint modellt, ekkor a valós pályagörbék valós szektordarabokból állnak össze. Tehát ennél, valós görbedarabok, szektorok a trajektóriák építőelemei, az-az a teszt útvonalak. Ekkor, az összes potenciális elágazási pontot figyelembe véve, a

tesztpálya minden lehetséges valóságos útvonala előállítható az egyes disztribúciós pontok figyelembe vételével. Tehát esetünkben - az Xcity tervezésével szemben - nincs probléma a kontinuitással, az illeszkedéssel, a valóságghűséggel és a számítási kapacitással sem. Az általunk bemutatásra kerülő algoritmussal, nagy sebességgel történhet a valós teszt utak előállítása, minden geometria-számítási korlát és gépi számítási korlátozás nélkül. A fizikai korlátot, ez esetben nem számíthatósági korlát jelenti, hanem esetleg, a már megtervezett tesztpálya geometriai adottságaiból származó képességek „a pálya geometriai elemeinek halmaza” jelenti. Ez olyan jellegű, hogy elvben, fennállhat annak a lehetősége, hogy esetleg, matematikai optimálási módszerrel lehetett volna még jobb pályát is tervezni. Visszatérve az összes lehetséges pálya trajektória előállítására, ehhez esetünkben felhasználjuk az általunk kifejlesztett nagyméretű hálózati modellt, - közelebbről ennek a kapcsolati mátrixát. A pálya összes lehetséges trajektóriájának meghatározásához, bevezetjük az α_{ij} disztribúciós markelt, amely pontosan jelez minden olyan útvonalat, amely az általa előidézett elágazásból származik. Az 1. ábrán felvett mintapályán vizsgáljuk az A és B eseteket, amelyek egyes szektorokon eltérő szektor-irányításokat alkalmaznak. Az A és B esetében kialakíthatók tehát különböző zártgörbésű pálya trajektóriák a tesztelések céljára és vizsgálhatók az értékelési módszerek is. Ennek az a célja, hogy meghatározhatók legyenek a tesztelő szempontjainak legjobban megfelelő, legértékesebb zárt pálya trajektóriák.



1. ábra: Az 1. – 8. rész-pályagörbékéből kialakított pálya esetén, az egyes eltérő szektor-irányítások mellett a bejáráshoz két különböző, egy A és egy B típusú trajektória halmaz keletkezik

A kutatás olyan alkalmazható matematikai módszerek kidolgozására irányul, amely pontosan figyelembe veszi a trajektóriák geometriáját és a pálya trajektóriákra egzakt minősítési - értékelési eljárás végrehajtására is képes legyen. A trajektóriák előállítására kidolgozandó mátrix-transzformációs kifejtési módszer biztosítson valós idejű számítási teljesítményt, tehát e-t tekintetben is legyen hatékony, szemben pl. az NP számítási teljesítményt igénylő Xcity - módszerhez képest.

4. AZ OPTIMÁLÁS TRAJEKTÓRIÁK KIVÁLASZTÁSÁRA

Felmerül a lehetőség a csatlakozó görbe darabokból felépülő trajektóriák szekvenciális felépítésű, dinamikus programozással történő optimális kiválasztására. Ez esetben a szekvenciális optimálás végrehajtására pl. a Bellman optimalitási tételt lehet alkalmazni. A megközelítés, az optimalitási tétel diszkrét, determinisztikus rendszerekre történő alkalmazása, figyelembe véve, hogy „Egy optimális politika, csak optimális al politikákból állhat”.

Esetünkben azonban, egy igen elegáns és gyors mátrix-transzformációs kifejtési módszert határozhatunk meg a tárgyalt forgalmi modell alapján. A tesztpályán fellépő forgalmat tekintve a K_{11} kapcsolati mátrix tartalmazza a belső szektor elemek közötti v_{ij} dinamikus sebesség kapcsolatokat. Tehát, K_{11} kapcsolati mátrix megadja, hogy tetszőleges „j” szektornál melyik „i” szektorra, vagy szektorokra áramlik szabályozott sebességgel, az ugyancsak szabályozott anyagmennyiség az n számú belső szektorból álló tesztpálya esetében ($i, j = 1, 2, \dots, n$). A feladatunk megoldásához a K_{11} mátrixból képezzük a P átmenet-valószínűségi, v. disztribúciós mátrixot oly módon, hogy a mátrix elemeknél csupán az $\alpha_{ij} \geq 0$ disztribúciót, a szétosztást meghatározó függvényt tartjuk meg és a többi dinamikus szabályozást végrehajtó függvény hatását 1 értékkel figyelembe véve semlegesítjük. Ezen kívül, szükséges még, hogy a főátlóbeli elemek helyébe 0 értékeket írjunk, hogy minden figyelembe vett továbblépés eredménye ne tűnjön el, az-az rögzítve megmaradjon. A valós dinamikus folyamatoknál fellépő anyagelvonások hatásainak ennél a vizsgálatnál nincs jelentősége, mert csupán az összes továbblépési lehetőségek meghatározása a feladat, ugyanakkor az összes korábbi tartózkodási hely megjelölése, megőrzése egyben szükséges is az összes útvonal meghatározásának a rekonstrukciókhoz. Az alapkoncepciónk az, hogy minden korábbi szétválás végig pontos nyomot hagyjon a továbbiakban azoknál az útvonalaknál, amelyek a szétválásból származnak. Tehát, **markerek** határozzák meg az egyes útvonalak lefolyását és kialakulását. Ezek a jól azonosítható markerek az $\alpha_{ij} \geq 0$ disztribúciók.

A fentiekhez a K_{11} mátrixból eredő Markov tulajdonságot használjuk fel. A mátrix minden j -ik oszlopánál ($j=1, 2, \dots, n$), a j szektoron tartózkodás feltételétől függő, $\alpha_{ij} \geq 0$ diszkrét eloszlás (a j oszlopban ezek összege 1) határozza

meg azt, hogy mekkora annak a valószínűsége, hogy j-ről valamely i szektorra lépünk tovább:

$$\alpha_{ij} = P(i | j) \quad (\text{Esetünkben: } i \neq j) \quad (1)$$

Ily módon, a $\mathbf{P} = \mathbf{P}[\alpha_{ij}]$ mátrix oszlopelemeinek összege:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_{ij} = 1; \quad (j=1, 2, \dots, n). \text{ Jól látható, hogy az így definiált}$$

$\mathbf{P}$ mátrix, egy diszkrét Markov láncot határoz meg. Megjegyezzük, hogy mivel az $\alpha_{ij}(x(t), t)$ értéket csak rövid időtartamokra tekinthetők konstansnak egy valós forgalmi hálózaton és ténylegesen az időtől és a szektorok jármű sűrűség állapot jellemzőjétől is függenek, ezért az itt meghatározott *Markov lánc inhomogén*. A $\mathbf{P}$ mátrix elemeire az sem mondható el, hogy ezek határozottan pozitívak, mivel vannak köztük nagy számban 0 elemek is, így a tárgyalt *Markov lánc egyúttal irreguláris* is. A vizsgálatot a továbbiakban úgy végezzük el, hogy elindulunk az 1 input szektorról és lépésenként előre haladva határozzuk meg a szétszétásokat (szóródásokat). Ennek megfelelően, a kezdeti időpontban az induláskor csupán az 1-es szektoron tartózkodunk $p > 0$ valószínűséggel. Az „1” kezdeti állapotok valószínűségeit határozza meg a $\mathbf{p}_1$ vektor: a feltételeknek megfelelően az 1-es szektoron p valószínűsű a tartózkodás, a többi szektoron viszont 0 értéket vesznek fel a tartózkodások valószínűségei:

$$\mathbf{p}_1 = \begin{bmatrix} p \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

A következő, (2) állapot-valószínűségeket $\mathbf{p}_2$ vektor határozza meg, számítása a $\mathbf{P}$ mátrix és a $\mathbf{p}_1$ vektor felhasználásával történik, amelynél a $\mathbf{P}$ mátrix tartalmaz az 1-ről történő továbbhaladásra vonatkozó disztribúciós irányokat és értékeket:

$$\mathbf{p}_2 = \mathbf{P} \cdot \mathbf{p}_1 \quad (3)$$

A következő, (3) állapot-valószínűségeket meghatározó $\mathbf{p}_3$ vektor számítása hasonlóan, rekurzív módon történik a $\mathbf{P}$ mátrix és a $\mathbf{p}_2$ vektor felhasználásával. Ennél, ugyancsak a $\mathbf{P}$ mátrix tartalmaz az 2-ről történő továbbhaladásra vonatkozó disztribúciós irányokat és értékeket:

$$\mathbf{p}_3 = \mathbf{P} \cdot \mathbf{p}_2 \quad (4)$$

Végül, az (n-ik) állapot-valószínűségeket meghatározó $\mathbf{p}_n$ vektor számítása ugyancsak rekurzív módon történik a $\mathbf{P}$ mátrix és a $\mathbf{p}_{n-1}$ vektor felhasználásával:

$$\mathbf{p}_n = \mathbf{P} \cdot \mathbf{p}_{n-1} \quad (5)$$

A Diszkrét Markov láncokra vonatkozó összefüggésre utalva, a feni levezetésből is jól látható, hogy egy lépéses módszerrel is elő állítható a $\mathbf{p}_n$ állapot valószínűség vektor a $\mathbf{P}$ mátrix n-ik hatványa és a $\mathbf{p}_1$ vektor szorzataként:

$$\mathbf{p}_n = \mathbf{P}^n \cdot \mathbf{p}_1 \quad (6)$$

Az n lépést követően, ha a tartományban elhelyezkedő szektoroknak nincs kivezetése, az-az nincs további átadás, valamint hurkokat ugyan alkalmazhatunk az útvonalaknál, de ezeket nem végtelen ciklusban, akkor véges lépést követően stabil állapot lép fel, tehát az egyes szektorokon nem módosulnak már a tartózkodási valószínűségek az algoritmus további alkalmazásával:

$$\mathbf{p}_n = \mathbf{p}_{n+1} = \mathbf{p}_{n+2} = \dots = \mathbf{p}_{n+k} = \dots \quad (7)$$

Ennek az a jelentősége, hogy $\mathbf{p}_n$ vektor nem zérus koordinátái alapján megállapítható, hogy hány különböző – párhuzamosnak tekinthető – út vezetett el a 1-es input szektortól bármely más szektorhoz. Ennél, azok az útvonalak a fontosak, amelyek a legtöbb szektorból álló, legtávolabbi „outputoknak” tekinthető szektorokhoz vezetnek, mivel ezek nyújthatnak legtöbb lehetőséget a minőségi vizsgálatokhoz. Ezt az 1.a és 1.b ábrákon bemutatott példákon fogjuk szemléltetni.

5. A MÓDSZER BEMUTATÁSA 8 SZEKTORBÓL ÁLLÓ TESZTPÁLYA ESETÉRE

A módszernek a továbbiakban fontos szerepe van egy tesztpályán meghatározandó összes trajektória gépi úton történő előállításánál. Hasonlóan, fontos feladatot láthat el a teszt szempontok szerinti különböző kritériumok és rangsorok meghatározásánál és értékelésénél is.

Tekintsük, az 1.a és 1.b. ábrákon, az $n = 8$ szektorokból álló „tesztpályát”. Vizsgáljuk meg az A pályán, valamely kiválasztott szektorról, esetünkben legyen ez az 1-es, a kialakítható összes lehetséges zárt görbéjű pálya trajektóriát, tehát azokat, amelyek az 1-ről indulnak és 1-re érkeznek meg. B pályán pedig 1-ről a 6-on, a 7-en és a 8-szakaszon végződő trajektóriákat.

Tekintsük az 1.a és 1.b ábrákon látható tesztpályák $\mathbf{P}$ átmenet-valószínűségi mátrixait, (8.a) és (8.b), amelyek az egymástól különböző i és j elemek közötti kapcsolatot meghatározó mátrixok.

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \alpha_{2,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \alpha_{3,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{4,2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{5,2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{6,3} & 0 & \alpha_{6,5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{7,3} & 0 & \alpha_{7,5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \alpha_{8,4} & 0 & 0 & \alpha_{8,7} & 0 \end{bmatrix} \quad (8.a)$$

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \alpha_{2,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \alpha_{3,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{4,2} & 0 & 0 & \alpha_{4,5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{5,3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{6,3} & 0 & 0 & 0 & \alpha_{6,7} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \alpha_{7,4} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_{8,6} & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (8.b)$$

A konstrukció alapján, az inputnak tekintett 1-es szektoron kiinduláskor a p_1 vektor a feltételeknek megfelelően az 1-es szektoron p valószínűségű a tartózkodás a többi szektoron pedig 0 értéket vesznek fel a tartózkodások valószínűségei:

$$P1 = \begin{bmatrix} p \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Rendre számítva a továbbhaladás során, a szektoron a tartózkodási valószínűségeket: $p_2 = P \cdot p_1$,

$p_3 = P \cdot p_2, \dots, p_n = P \cdot p_{n-1}$, a következő állapot-
valószínűségeket meghatározó vektorsorozatot kapjuk:

$$P2 = \begin{bmatrix} p \\ \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{3,1} p \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9.a)$$

$$P2 = \begin{bmatrix} p \\ \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{3,1} p \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9.b)$$

$$P3 = \begin{bmatrix} p \\ \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{7,3} \alpha_{3,1} p \\ 0 \end{bmatrix} \quad (10.a)$$

$$P3 = \begin{bmatrix} p \\ \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{5,3} \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (10.b)$$

$$P4 = \begin{bmatrix} p \\ \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p + \alpha_{6,5} \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{7,3} \alpha_{3,1} p + \alpha_{7,5} \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{8,4} \alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p + \alpha_{8,7} \alpha_{7,3} \alpha_{3,1} p \end{bmatrix} \quad (11.a)$$

$$P4 = \begin{bmatrix} p \\ \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p + \alpha_{4,5} \alpha_{5,3} \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{5,3} \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{7,4} \alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{8,6} \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p \end{bmatrix} \quad (11.b)$$

$$P5 = \begin{bmatrix} p \\ \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p + \alpha_{6,5} \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{7,3} \alpha_{3,1} p + \alpha_{7,5} \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{8,4} \alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p + \alpha_{8,7} (\alpha_{7,3} \alpha_{3,1} p + \alpha_{7,5} \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p) \end{bmatrix} \quad (12.a)$$

$$\begin{bmatrix} p \\ \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p + \alpha_{4,5} \alpha_{5,3} \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{5,3} \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{7,4} (\alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p + \alpha_{4,5} \alpha_{5,3} \alpha_{3,1} p) + \alpha_{7,8} \alpha_{8,6} \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{8,6} \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p \end{bmatrix} \quad (12.b)$$

$$P6 = \begin{bmatrix} p \\ \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p + \alpha_{6,5} \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{7,3} \alpha_{3,1} p + \alpha_{7,5} \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{8,4} \alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p + \alpha_{8,7} (\alpha_{7,3} \alpha_{3,1} p + \alpha_{7,5} \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p) \end{bmatrix} \quad (13.a)$$

$$\begin{bmatrix} p \\ \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p + \alpha_{4,5} \alpha_{5,3} \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{5,3} \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{7,4} (\alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p + \alpha_{4,5} \alpha_{5,3} \alpha_{3,1} p) + \alpha_{7,8} \alpha_{8,6} \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{8,6} \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p \end{bmatrix} \quad (13.b)$$

Látható, hogy az 5. transzformációs lépés után (amely már meghatározta az összes lehetséges útvonalat) már nem változik a P_j valószínűség vektor. Ez abból következik, hogy az alkalmazott átment valószínűség mátrix oly módon lett meghatározva, hogy az „A”- esetben a 6-os és 8-as szektorok már nem adnak tovább járművet egyetlen más szektorra sem. A „B” esetben a 6-os, a 7-es és a 8-as szektoron végződnek az útvonalak.

Az 1-inputból kiinduló összes útvonal úgy adható meg, hogy meghatározzuk, hogy hány útvonal vezet külön-külön a vég-szektorokhoz. (A –esetben az 1-től a 6-outhoz és az 1-től a 8-outhoz? B –esetben 1-től a 6-outhoz, az 1-től a 7-outhoz és az 1-től a 8-outhoz?)

„A”- esetet tekintve: Az 1-től a 6-outhoz vezető útvonalaknál a vektor 6. koordinátáját kell vizsgálni. Ennél két összeget látunk, amelyet az eredményezett, hogy 6-hoz két párhuzamos útvonalon jutottunk el.



Ezeket az útvonalakat az α_{ij} disztribúciók második indexeinek jobbról balra történő olvasásai mutatják!

$$P8[6] = \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p + \alpha_{6,5} \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p \quad (14)$$

Az első I: 1-ről 3-ra és 3-ról 6-ra vezet;
A második II: 1-ről 2-re, majd 2-ről 5-re és 5-ről 6-ra vezet.

Az 1-től a 8-ra vezető útvonalakat előbbihez hasonlóan, a vektor 8. koordinátája mutatja. Ennél, az alábbi szerint 3 tagból álló összeget látunk, tehát 3 eltérő, párhuzamos úton juthatunk el 1-ből 8-hoz.

$$P8[8] = \alpha_{8,4} \alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p + \alpha_{8,7} (\alpha_{7,3} \alpha_{3,1} p + \alpha_{7,5} \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p) \quad (15)$$

Az első, III-al jelölve: 1-ből 2-re majd 2-ről 4-re végül, 4-ről 8-ra vezet.

A második, IV-al jelölve: 1-ről 3-ra, 3-ról 7-re és 7-ről 8-ra vezet.

A harmadik, V-al jelölve: 1-ről 2-re, 2-ről 5-re, 5-ről 7-re végül 7-ről 8-ra vezet.

Jól látható, hogy a Computer-algebrai módszerrel előállított (14) és (15) képletek paraméteres matematikai formulák. Az útvonalkódok meghatározására vonatkozó kiértékelésük, stringek és karakterek feldolgozásával történik. Ezek a képletek szorzatok összegeiből állnak és minden szorzatot „+” jel választ el a következőtől. Ezek a szorzatok alkotják a stringeket, amelyekben jobbról balra haladva a karakterek analízisét végezve, csupán az alfa karakter indexeit gyűjtjük ki és az egymás utáni két azonos indexeket csak egyszer vesszük figyelembe. Az így meghatározott számsorozat az útvonalat alkotó, egymást követő és egymáshoz csatlakozó szektorelemek sorszámai. (Lásd I.,II.,...,V. útvonalak.)

A „B” esetben, hasonlóan a meghatározott feladatban az összes olyan útvonalat határozzuk meg, amelyek az 1 szektorról indulnak és vagy a 6-on, vagy a 7-es szektoron, vagy a 8-as szektoron végződnek:

$$P8[6] = \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p \quad (16)$$

$$(17)$$

$$P8[7] = \alpha_{7,4} (\alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p + \alpha_{4,5} \alpha_{5,3} \alpha_{3,1} p) + \alpha_{7,8} \alpha_{8,6} \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p$$

$$P8[8] = \alpha_{8,6} \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p \quad (18)$$

Az I: 1-ről 3-ra és 3-ról 6-ra vezet; (a P8[6] által meghatározott útvonal)

II: 1-ről 3-ra, 3-ról 6-ra, 6-ról 8-ra, végül 8-ról 7-re vezet; (P8[7] által meghatározott útvonal)

III: 1-ről 3-ra, 3-ról 5-re, 5-ről 4-re, végül 4-ről 7-re vezet; (P8[7] által meghatározott útvonal)

IV: 1-ről 2-re, 2-ről 4-re, végül 4-ről 7-re vezet; (P8[7] által meghatározott útvonal)

V: 1-ről 3-ra, 3-ról 6-ra, végül 6-ról 8-ra vezet; (P8[8] által meghatározott útvonal)

6. A SZÁMÍTÁSOKRA VONATKOZÓ MÁTRIX MŰVELETEK BEMUTATÁSA

Összefoglalva, mindkét esetben az 1 inputtól összesen 5-5 db. különböző útvonal vezet, úgy, hogy az egy-egy útvonalon felhasznált szektorok mindegyike csak egyszer lett felhasználva.

A fenti mátrix transzformációs algoritmus alapján meghatároztuk a 2.a és 2.b ábrákon látható teszt pályákesetén az összes trajektóriát. Ezek az $i = I., II., \dots, V.$ trajektóriák a (19.a és 19.b) **Tr** mátrix soraikban vannak kódolva oly módon, hogy ahol 1-es szerepel az i -ik sorban, az a j szektor része az i -ik trajektóriának:

$$Tr = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (19.a)$$

$$Tr = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (19.b)$$

A (20.a és 20.b) **Ck** mátrix $[i,j]$ elemei az egyes trajektória elemek (8 db. szektor elem van) értékeit tartalmazzák az adott tesztelési program esetén.

$$Ck = \begin{bmatrix} 1.5 & 2.5 & 3.2 & 5.7 & 4.1 & 7.6 & 3.8 & 9.5 \\ 1.5 & 2.5 & 3.2 & 5.7 & 4.1 & 7.6 & 3.8 & 9.5 \\ 1.5 & 2.5 & 3.2 & 5.7 & 4.1 & 7.6 & 3.8 & 9.5 \\ 1.5 & 2.5 & 3.2 & 5.7 & 4.1 & 7.6 & 3.8 & 9.5 \\ 1.5 & 2.5 & 3.2 & 5.7 & 4.1 & 7.6 & 3.8 & 9.5 \end{bmatrix} \quad (20.a)$$

$$Ck = \begin{bmatrix} 1.5 & 2.5 & 3.2 & 5.7 & 4.1 & 7.6 & 3.8 & 9.5 \\ 1.5 & 2.5 & 3.2 & 5.7 & 4.1 & 7.6 & 3.8 & 9.5 \\ 1.5 & 2.5 & 3.2 & 5.7 & 4.1 & 7.6 & 3.8 & 9.5 \\ 1.5 & 2.5 & 3.2 & 5.7 & 4.1 & 7.6 & 3.8 & 9.5 \\ 1.5 & 2.5 & 3.2 & 5.7 & 4.1 & 7.6 & 3.8 & 9.5 \end{bmatrix} \quad (20.b)$$

A (21.a és 21.b) **Cv** mátrix $[i,j]$ elemei az egyes trajektória elemeknél a szektorváltozás értékeit adják meg az adott

tesztelési program esetén. Az érték az átdó szektorhoz van hozzárendelve.

$$C_v = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 & 1.6 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 1.2 & 0 & 0 & 0 & 1.3 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0.2 & 1.1 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 & 1.6 & 0 & 1.2 & 1.3 \end{bmatrix} \quad (21.a)$$

$$C_v = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0.9 & 0 & 0.1 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (21.b)$$

A (22.a és 22.b) C mátrix $[i,j]$ elemei az összegzett értékek az egyes trajektória elemeknél az adott tesztelési program esetén:

$$C = C_k + C_v = \begin{bmatrix} 1.5 & 2.5 & 3.7 & 5.7 & 4.1 & 7.7 & 3.8 & 9.5 \\ 1.5 & 3.0 & 3.2 & 5.7 & 5.7 & 8.1 & 3.8 & 9.5 \\ 1.5 & 3.0 & 3.2 & 6.9 & 4.1 & 7.6 & 3.8 & 10.8 \\ 1.5 & 2.5 & 3.7 & 5.7 & 4.1 & 7.6 & 4.0 & 10.6 \\ 1.5 & 3.0 & 3.2 & 5.7 & 5.7 & 7.6 & 5.0 & 10.8 \end{bmatrix} \quad (22.a)$$

$$C = C_k + C_v = \begin{bmatrix} 1.5 & 2.5 & 3.7 & 5.7 & 4.1 & 7.7 & 3.8 & 9.5 \\ 1.5 & 3.0 & 3.2 & 5.7 & 5.7 & 8.1 & 3.8 & 9.5 \\ 1.5 & 3.0 & 3.2 & 6.9 & 4.1 & 7.6 & 3.8 & 10.8 \\ 1.5 & 2.5 & 3.7 & 5.7 & 4.1 & 7.6 & 4.0 & 10.6 \\ 1.5 & 3.0 & 3.2 & 5.7 & 5.7 & 7.6 & 5.0 & 10.8 \end{bmatrix} \quad (22.b)$$

A (23.a és 23.b) $C \cdot Tr$ mátrix $[i,j]$ elemei a tényleges trajektóriákat alkotó szektorok teszt-értékei, amely szorzat a két mátrix Hadamard szorzata:

$$C \cdot Tr = \begin{bmatrix} 1.5 & 0. & 3.7 & 0. & 0. & 7.7 & 0. & 0. \\ 1.5 & 3.0 & 0. & 0. & 5.7 & 8.1 & 0. & 0. \\ 1.5 & 3.0 & 0. & 6.9 & 0. & 0. & 0. & 10.8 \\ 1.5 & 0. & 3.7 & 0. & 0. & 0. & 4.0 & 10.6 \\ 1.5 & 3.0 & 0. & 0. & 5.7 & 0. & 5.0 & 10.8 \end{bmatrix} \quad (23.a)$$

$$C \cdot Tr = \begin{bmatrix} 1.5 & 0. & 3.7 & 0. & 0. & 7.7 & 0. & 0. \\ 1.5 & 0. & 3.2 & 0. & 0. & 8.1 & 3.8 & 9.5 \\ 1.5 & 0. & 3.2 & 6.9 & 4.1 & 0. & 3.8 & 0. \\ 1.5 & 2.5 & 0. & 5.7 & 0. & 0. & 4.0 & 0. \\ 1.5 & 0. & 3.2 & 0. & 0. & 7.6 & 0. & 10.8 \end{bmatrix} \quad (23.b)$$

A (24.a és 24.b) Sc vektor, a $C \cdot Tr$ mátrix sorainak összegzésével nyert vektor, így koordinátái határozzák meg a lehetséges trajektóriák teszt-értékeit:

$$Sc = \begin{bmatrix} 12.9 \\ 18.3 \\ 22.2 \\ 19.8 \\ 26.0 \end{bmatrix} \quad (24.a)$$

$$Sc = \begin{bmatrix} 12.9 \\ 26.1 \\ 19.5 \\ 13.7 \\ 23.1 \end{bmatrix} \quad (24.b)$$

A (24.a és 24.b) vektorok, az összetett tesztek szerint tartalmazzák az egyes teszt trajektóriák értékeit.

7. ÖSSZEFOGLALÓ - KONKLÚZIÓ

A kutatás során felhasználtuk az A és B pályák esetén a kapcsolati típusú pályákra vonatkozó átmenet-valószínűségi mátrixot.

i \ j	1	2	3	4	5	6	7	8
1								
2	$\alpha_{21} = P(2 1)$							
3	$\alpha_{31} = P(3 1)$							
4		$\alpha_{42} = P(4 2)$						
5		$\alpha_{52} = P(5 2)$						
6			$\alpha_{63} = P(6 3)$		$\alpha_{65} = P(6 5)$			
7			$\alpha_{73} = P(7 3)$		$\alpha_{75} = P(7 5)$			
8				$\alpha_{84} = P(8 4)$			$\alpha_{87} = P(8 7)$	

1. táblázat: az 1.a ábrához tartozó

$[P(i|j)] = [\alpha_{ij}]$ átmenet valószínűségi mátrix elemeit, a nagyméretű hálózati modell disztribúciós értékei határozzák meg



$i \setminus j$	1	2	3	4	5	6	7	8
1								
2	$\alpha_{21} = P(2 1)$							
3	$\alpha_{31} = P(3 1)$							
4		$\alpha_{42} = P(4 2)$			$\alpha_{45} = P(4 5)$			
5			$\alpha_{53} = P(5 3)$					
6			$\alpha_{63} = P(6 3)$				$\alpha_{67} = P(6 7)$	
7				$\alpha_{74} = P(7 4)$				
8						$\alpha_{86} = P(8 6)$		

2. táblázat: az 2.a ábrához tartozó

$[P(i|j)] = [\alpha_{ij}]$ átmenet valószínűségi mátrix

elemeit, a nagyméretű hálózati modell disztribúciós értékei határozzák meg

A kutatás célja olyan hatékony és gyors algoritmus kifejlesztése volt, amely a teszt-pálya bármely szektoráról kiinduló és a teszt-pálya tetszőlegesen választott több szektorán végződő, összes különböző trajektória meghatározását eredményezi. Ehhez, a kutatásunk felhasználta a nagyméretű közúti hálózati modell kapcsolati mátrixát.

A munka, a teszt-pályák minősítésére, fejlesztésére és tervezésére is szolgál, mivel általa elvégezhető a meghatározott trajektóriák komplex értékelései is. A számítások egyaránt vizsgálják a szektorok statikus és dinamikus állapotjellemzőit. Figyelembe veszik a szektorok geometriai értékeit és a rajtuk generált szituációk értékeit is, valamint a szektorok csatlakozásainak értékeit és a szektorokon történő áthaladás irányát is, amely szintén szabadon variálható.

A kutatás felhasználási területe a legértékesebb teszt - trajektóriák meghatározása, ill., kiválasztása. Összességében a teszt-pálya képességének fejlesztése és a teszt-pálya eredményes működésének segítése.

A fellépő trajektóriák esetén, az „m” maximális szektorszám ismeretében az átmenet-valószínűségi mátrix m-ik hatványának alkalmazásával egy lépésben is meghatározható az útvonalakat tartalmazó vektor.

A markerek, karakter programmal történő analizisével, a trajektóriák automatikusan meghatározhatók a leírtak alapján. A bemutatott módszer a trajektóriák geometriáját pontosan tárgyalja és egzakt módon vizsgálja. A trajektóriák előállítására bemutatott mátrix transzformációs kifejtési módszer rendkívül gyors és valós idejű számítási időigényét tekintve igen hatékony, - amely nagy előny a rendkívüli számítási teljesítményt igénylő Xcity - módszerhez képest. A tárgyalt módszer megépült, vagy tervezés alatt álló teszt-pályák értékelésére egyaránt hatékonyan alkalmazható a tesztelések céljaira, a célfüggvény által meghatározott legértékesebb trajektóriák kiválasztására. A módszer hasonlóan alkalmazható az optimális megoldások kiválasztására a még meg nem épített, de előtervezett pályák lehetőségeinek feltárására és kiértékelésére. Ez fontos lehetőséget biztosít a tervezési fázisokban, a nagyszámú gépi úton megtervezett és előkészített pálya előzetes kiértékelésére és szükség esetén a további tervezésekre.

A most bemutatott modell egy általános makroszkopikus model speciális felhasználásán alapul, amelynek rendkívül hasznos adottsága, hogy bármilyen bonyolult közlekedési hálózat esetében is, ez a matematikai modell minden kapcsolatot figyelembe tud venni a trajektóriákat felépítő szektorelemek között. Az alkalmazott hálózati modell, az u.n., szűkített modellek körébe tartozik T. Péter and J. Bokor (2010),(2011),T. Péter (2012), T. Péter, K. Szabó (2012), T. Peter, J. Bokor and A. Strobl (2013), T. Péter and S. Fazekas (2014). Ennél, egy tetszőleges G zárt görbe által körülkerített belső hálózatot vizsgálunk. A belső hálózat – esetünkben a teszt-pálya- n szektorból áll, ezek állapotjellemzői az $x_1, x_2, \dots, x_n$, járműsűrűségek, amelyeket számít a modell. A G perem mentén – vannak a teszt-pályára beszállító, ill., arról kiszállító szektorelemek - amelyek azok az $s_1, s_2, \dots, s_m$, sűrűségű külső (input és output) szektorok, amelyek közvetlen kapcsolatokkal rendelkeznek valamely belső teszt-pálya szektorral és ez utóbbiak állapotát a mérések alapján ismertnek tekintjük. A modellünkben $0 \leq x_i(t) \leq 1$ és $0 \leq s_j(t) \leq 1$ normált járműsűrűség állapotjellemzőket használunk ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$). Ez alkalmazható a parkolók esetében is, mivel a parkolók is általánosított szektorok a modellben. Ennél a modellnél a kapcsolati hipermátrixot alkotó mátrixok közül, csak a K_{11} belső-belső és a K_{12} külső-belső kapcsolatokat leíró mátrixok játszanak szerepet, mert általuk képviselve van minden átadás, amely a belső szektorokra vonatkozik. Ahol, $K_{11} \in \mathcal{R}^{n \times n}$, $K_{12} \in \mathcal{R}^{n \times m}$.

A teszt-pálya hálózat működését a kapcsolati hipermátrix foglalja egy egységes struktúrájú rendszerbe. A kapcsolati mátrix, egyrészt megadja bármely szektor esetében, hogy milyen más szektorokkal áll átadási kapcsolatban, továbbá a dinamikus folyamatok vizsgálatánál, a kapcsolati mátrixot tartalmazó differenciálegyenlet-rendszer írja le a hálózat minden szektorának a dinamikus működését, az-az a teljes hálózat működését. A részletes leírások, a belső automatizmusokra, a disztribúciókra közlekedési lámpairányítási jelekre, az átadási sebességekre stb., a kapcsolatos irodalomjegyzékben megtalálhatók. A tárgyalt modellt, alkalmaztuk különböző nagyméretű közúti közlekedési hálózatok modellezésére. **A modell lényegi tulajdonsága, hogy a K_{11} kapcsolati mátrix tartalmazza minden belső szektorelem összes lehetséges kapcsolatát. Következésképp, a trajektória - elemek folytatását is, ily módon az összes trajektóriát a belső hálózatban.** – Természetesen, a szektor-elemek típusa és jellemzői is hozzá rendelhetők az i, j elemekhez: (így, pl. egyenes vonal tetszőleges valós hosszal, tetszőleges körív db., tetszőleges valóságos ívdarabok, a valós geometriai adatokkal), amelyek filekben vannak elhelyezve. Ezek a szektor-elemek, a természetes kapcsolódási pontjaik révén és a pálya forgalmi rendjét figyelembe véve, tetszőlegesen kombinálhatók a kiválasztott trajektória alapján és pontosan illeszkedő, összefüggő folytonos trajektóriákat alkotnak, és természetes módon kiválaszthatók, mivel már egy megtervezett pályából vannak kivéve.

Az Xcity - módszernél, minden útelemnek értéke - minőségi jellemzője - van, amelyet figyelembe vesz az egész teszt-útvonal értékének meghatározásánál egy számítással. Ezt, egy bonyolult optimálási eljárásnál veszi figyelembe, amely kiválasztja az optimális teszt-útvonalakat. Mindez végül, rendkívüli számítási kapacitást igényel és valós esetekben az alkalmazása jelenleg a gyakorlatban nem végrehajtható számítási teljesítményt igényel.

Esetünkben szintén, minden út-elemnek minőségi jellemzője van! Ennek értékelésére több lehetőség is adódik. Egyrészt, alkalmazhatjuk azt, amely szerint, az Xcity módszer értékeli a trajektóriákat, de ennek a kérdésnek a nyitottsága következtében, más elveket is lehet - és célszerű megvizsgálni, mivel ez fontos az optimálásnál és hasznos minden további fejlesztési lehetőség feltárásánál.

Megítélésünk szerint, az egymáshoz kapcsolódó görbedaraboknál nem csak az egyes görbéknek van értékük (a pályán generált forgalmi szituációk értéke és az útvonalvezetés geometriai tulajdonsága következtében fellépő értéke mellett), hanem még annak is, hogy melyik típusú görbedarab csatlakozik milyen más típusú görbedarabhoz és ennek milyen a vezetésre gyakorolt hatása? Tehát, milyen az átmenet? Ha pl., egyenes szakasz csatlakozik egyenes szakaszhoz és ezek egy egyenesbe esnek, akkor 0 a csatlakozás értéke. Ha irányváltást is okoz a csatlakozás, akkor a tesztgörbe ennél a csatlakozásnál már bonyolultabb feladatot szab meg a vezetés számára és a csatlakozás értéke már nem feltétlen zérus. Ha azonos sugarú és azonos középpontú körív-darabok csatlakoznak egymáshoz azonos külső körülmények között, akkor a csatlakozás szintén nem szab meg az előbbtől eltérő feladatot, tehát nem igényel a korábbtól eltérő manőverezést és nem eredményez új hatást a jármű mozgására, így a csatlakozás értéke 0. Tehát, az egyes görbedarabok értékelése mellett, a csatlakozások következtében fellépő hatások is értékelendők és figyelembe vehetők az általunk kifejlesztett módszernél a tesztpálya trajektóriák kialakításánál. A modellben ez additív módon járul hozzá a csatlakozó szektor értékeléséhez.

A következő időszakban fontos lesz a bemutatott módszerek tesztpálya méretű trajektórián történő alkalmazásai. Hasonlóan fontos a pályaértékelés szempontjainak megvitatása, a minél jobb és valós kritériumokat figyelembe vevő célfüggvények kidolgozásához.

Köszönetnyilvánítás

A konferencia cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában (EFOP-3.6.2-16-2017-00016)” projekt és a Széchenyi István Egyetem biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg

ACM. Project (2018). url: <http://www.acmwillowrun.org/the-project/>.

R. Chen, M. Arief, and D. Zhao (2018) An "Xcity" Optimization Approach to Designing Proving Grounds for Connected and Autonomous Vehicles Submission Date: August 1, 2018, pp. 1-18. <https://arxiv.org/pdf/1808.03089.pdf>

EFOP-3.6.2-16-2017-00016 Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában

Harman (2017). To Co-Develop and Operate the International Cyber Security Smart Mobility Analysis and Research Test (SMART) Range in Israel. 2017. url: <https://news.harman.com/releases/releases-20171114>.

Mcity Test Facility. (2018). url: <https://mcity.umich.edu/our-work/mcity-test-facility/>.

D. Muoio. (2018) Uber built a fake city in Pittsburgh with roaming mannequins to test its selfdriving cars. 2018. url: <https://www.businessinsider.com/ubers-fake-city-pittsburgh-self-driving-cars-2017-10>.

C. Nowakowski, S. E. Shladover, C.-Y. Chan, and H.-S. Tan. 2015 "Development of California Regulations to Govern Testing and Operation of Automated Driving Systems". Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2489 (2015), pp. 137– 144. doi: 10.3141/2489- 16. eprint: <https://doi.org/10.3141/2489-16>. url:<https://doi.org/10.3141/2489-16>.

I. Passchier, G. v. Vugt, and M. Tideman. (2015) "An Integral Approach to Autonomous and Cooperative, Vehicles Development and Testing". 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems. Sept. 2015, pp. 348–352. doi: 10.1109/ITSC.2015.66

T. Péter and J. Bokor (2010): Péter T. and Bokor J. Research for the modelling and control of traffic, FISITA World Automotive Congress, Budapest, 30 May - 4 June 2010. Book of abstracts, pp. 66-73. In: Scientific Society for Mechanical Engineering, (ISBN:978-963-9058-28-6).

T. Péter and J. Bokor (2011): T. Peter, J. and Bokor: New road traffic networks models for control, *GSTF International Journal on Computing*, vol. 1, Number 2. pp. 227 -232. DOI: 10.5176_2010-2283_1.2.65 February 2011

T. Péter (2012.) Modeling nonlinear road traffic networks for junction control, *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science (AMCS)*, 2012, Vol. 22, No. 3. pp. 723-732. DOI: 10.2478/v1006-012-0054-1



- T. Péter and K. Szabó (2012) A new network model for the analysis of air traffic networks. In: Periodica Polytechnica-Transportation Engineering 40/1 (2012) 39-44. doi: 10.3311/pp.tr.2012-1.07 web: <http://www.pp.bme.hu/> tr ISSN 1587-3811 (online version); ISSN 0303-7800 (paper version)
- T. Peter, J. Bokor and A. Strobl (2013): Model for the analysis of traffic networks and traffic modelling of Győr, pp 167-172. Doi: 0023, IFAC Workshop on Advances in Control and Automation Theory for Transportation Applications (ACATTA 2013) which is to be held in Istanbul, Turkey, 16-17 September 2013. <http://www.acatta13.itu.edu.tr/>
- T. Péter and S. Fazekas (2014): Determination of vehicle density of inputs and outputs and model validation for the analysis of network traffic processes, Periodica Polytechnica, Transportation Engineering Vol. 42.. No 1. 2014. pp. 53-61.
- T. Stevens (2017). Crashing Castle: An autonomous ride in Waymo's playground. 2017. url: <https://www.cnet.com/roadshow/news/google-waymo-castle-visit/>.
- Z. Szalay. (2016) “Structure and Architecture Problems of Autonomous Road Vehicle Testing and Validation”. Structure and Architecture Problems of Autonomous Road Vehicle Testing and Validation. An optional note. 15TH Mini Conference on Vehicle System Dynamics. The publisher, Nov. 2016.
- Torc (2018) Asimov self-driving car system capabilities. 2018. url: https://torc.ai/wp-content/uploads/Torc_capabilities
- Zala Zone url: <https://zalazone.hu/en/>

