

A pálya értékelése

Dr. Péter Tamás T.*, Dr. Szalay Zsolt.**, Rózsás Zoltán Z.***

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

** Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (e-mail: zsolt.szalay@gjt.bme.hu)

*** Autóipari Próbapálya Zala Kft. (e-mail: zoltan.rozsas@apz.hu)

Abstract: A kutatási munka, a pálya képességek elemzésére irányul az autonóm járművek teszteléséhez, amely az Xcity elemzése nyomán új és hatékony módszert eredményez. A járműipari tesztpályához kapcsolódó kutatási feladatokon belül kiemelt terület a pálya-képességek elemzése. Az autonóm járművek tesztelése esetében, egyaránt fontosak a dinamikus pályaelemek és a városi pályaelemek is abból a szempontból, hogy ezek a legmagasabb szinten képviseljék a valós forgalmi folyamatok hatásait! A vizsgálataink szempontjából alapvető jelentőséggel bírt az is, hogy ennél a rendkívül komplex problémánál lecsökkentsük a számítások bonyolultságát. Ezért, olyan módszerre teszünk javaslatot, amely vagy meglévő tesztpálya esetében állít össze optimális tesztprogramot, amely kiválasztja valamely szempontrendszer mellett, a célnak megfelelő legjobb trajektóriák összességét, vagy a pályák tervezésének a fázisában, meghatározza az adott céloknak legjobban megfelelő trajektóriák összességét. Ez utóbbi irányt szabhat az újra tervezéskehez és az eljárás algoritmikus módszereket is nyújt a pályamodellek szerkezetének tervezéséhez. A pálya összes lehetséges trajektóriájának meghatározásához, bevezetjük az α_j disztribúciós markert, amely pontosan jelez minden olyan útvonalat, amely az általa előidézett szétválásból származik.

1. BEVEZETÉS

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

2. AZ IRODALOMBAN ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

2.1 A feladathoz kapcsolódó irodalom áttekintése

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), Z. Szalay. (2016). 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 hűségesen 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. THE 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 közlekedési szabályok betartása, e-mellett, a többi járműre és úthasználókra, valamint a gyakran felmerülő veszélyekre történő reakciók 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 esemény térben! Először R. Chen, M. Arief, D. Zhao (2018) értékelt 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 foratókönyvek 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 adott forgatókönyv engedélyezéséhez, olyan térképeket kellett rajzolniuk az utak és a kereszteződések csoportjából, amelyek támogatják ezen útelem találkozások (csatlakozások) pontos 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 egyetemességét is.**

2.2 Az Xcity módszer által alkalmazott kétfázisú matematikai modell

A módszer egy forgatókönyv-alapú optimalizálási megközelítés, amely a CAV analízisre vonatkozik. Magában foglalja a pályatervezést, amelyet "Xcity" tervezési problémaként említ. A $\text{trac } c$ találkozások 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. Az Xcity 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.

Modellezési megfontolások

A közúti eszközök S értékmérésénél az előre feldolgozott $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{NA}\}$ sorozat vehető alapul a korlátozott építési területen.

Korlátok:

1. Az egy adott eszközben lévő út-elemek nem fedhetik át az egyéb eszközök útjait.
2. Az úti eszközök mértékének benne kell lenniük az S korlátozott térben.

Definíciók:

1. Az A részhalmaza az $A' = \{a'_1; a'_2, \dots, a'_{NA}\}$, megvalósíthatónak tekinthető, amennyiben az A' -ben lévő összes úti eszközre vonatkozó fenti 1., 2. korlátok érvényesek és egyidejűleg lehetséges az S -re történő leképezés is.
2. Az a_i és a_j két út eszköz közvetlenül összekapcsolható, ha lehetséges valamely egyenes átmenő út kialakítása köztük oly módon, hogy bármely más úti eszközzel történő metszés (összeütközés) nélkül kapcsolhatók össze. Az A útvagyon-készletben közvetlenül összekapcsolható (a_i, a_j) eszközpárok számát közvetlen kapcsolatok számának nevezzük, melynek jelölése a $C: A \rightarrow \mathfrak{R}$ függvény.

Célok és ezzel kapcsolatos jelölések:

1. A megvalósítható halmaz részhalmaza a $v(A^*)$ amelyet a legmagasabb teljes eszközértékekből lehet kiválasztani és leképezhető az S -re.

2. A $v(A^*)$ úgy van megválasztva, hogy S maximális legyen a $C(A^*)$ függvény maximálása mellett.

A továbbiakban a két fázisban összefoglalt matematikai megfontolásokat tekintjük át.

Az 1. fázisban a megvalósítható útszakasz részhalmazából a legmagasabb összetettségű eszközértéket képviselő $v(A^*)$ halmaz kerül kiválasztásra (az összes előzetesen előállított „ A ” út adathalmazból).

A 2. fázisban az előre kiválasztott A^* halmaznál az adott térben S -szerinti optimalizálás történik, figyelembe véve a forgatókönyveknél az átmenetekre vonatkozó rugalmasságokat.

A kétfázisú megközelítés:

1. fázis: a legértékesebb megvalósítható alcsoport kiválasztásának modellje

Egy vagyon-készlet-korlátozó készletet jelöli a SACS. A Cross-Asset korlátozási készletet jelöli a CACS. Előbbi, az úteszköz-feltérképezését, a másik követelmény pedig azt mondja ki, hogy a különböző közúti eszközök belső szegmensei nem ütközhetnek, vagy nem metszhetik egymást. Mind a SACS, mind a CACS definíció matematikai alakban az alábbiak szerint, egyetlen optimalizálási modellben fogalmazhatók meg, minden alábbi A' részhalmaz esetében:

$$A' = \{a'_1, a'_2, \dots, a'_{NA}\} \subseteq A$$

$$X = \{x_1^{(1)}, x_1^{(2)}, \dots, x_1^{(n_1)}, x_2^{(1)}, x_2^{(2)}, \dots, x_2^{(n_2)}, \dots, x_{NA}^{(1)}, x_{NA}^{(2)}, \dots, x_{NA}^{(n_{NA})}\}$$

Legyen: $\delta \in \mathfrak{R}^{N_0 \times 1}$

Ekkor, a minimalizálási probléma,

$$\text{Min! } (\delta^T \delta - v(A')) \quad (1.1)$$

az alábbiak függvényében van meghatározva:

$$K_{sa}(a_\tau), \tau = 1, 2, \dots, NA' \quad (1.2)$$

$$K_{ca}(l_p, l_q), \forall l_p \in a'_i, l_q \in a'_j \Rightarrow a'_i, a'_j \in A', i \neq j \quad (1.3)$$

Látható, hogy a megvalósítás során figyelembe lett véve az A' eszközösszetétel kiválasztása és ehhez a leképezéshez manuálisan módon vannak hozzárendelve az útitervek. Ha a fennmaradó $\delta^T \delta$ célkitűzés globális minimuma elérésre kerül, akkor a korlátozások szigorú értelemben teljesülnek és a megfelelő X , egy megvalósítható leképezés lesz az A' -ből az S -be.

2. fázis: az optimalizációs modell

Tekintettel, az előre kiválasztott optimális A^* készletre, az 1. fázis alapján az a cél, hogy maximálva legyen $C(A^*)$ mind a SACS, mind a CACS függvényében. Tekintettel az $\{x_i^{(1)}, x_i^{(2)}, \dots, x_i^{(n_i)}\}$ csomópontokkal rendelkező közúti eszközre, a következő meghatározásokat célszerű javasolni. Itt fontos megjegyezni, hogy a „*” index azt jelzi, hogy ezek a változók már előre be lettek jelölve az 1. fázis alapján és ezek már nem változtatandók meg a további lépéseknél, tehát állandók maradnak a 2. fázisban.

Az alkalmazott jelölések:

$$b_{dc} = \{b_{dc}(a_i^*, a_j^*) \mid \forall a_i^*, a_j^* \in A', i \neq j\}$$

bináris döntési változók készlete, amelyek az a_i és a_j közvetlen kapcsolódási állapotát jelzik.

$\beta(a_i^*)$ határ csomópontok halmaza a_i -ban

$L_{tr}(A^*)$ átmeneti útjelöltek sorozata

$$\{l_{tr}(x_i^{(p)}, x_j^{(q)}) \mid x_i^{(p)} \in \beta(a_i^*), x_j^{(q)} \in \beta(a_j^*), i \neq j\};$$

$b_{tr}(x_i^{(p)}, x_j^{(q)})$: bináris változó, $l_{tr}(x_i^{(p)}, x_j^{(q)})$ –el

kapcsolatban

$L_{tr}(l_{tr})$ olyan, belső szegmensek halmaza, amelyek nem rendelkeznek közös csomóponttal az l_{tr} konstrukcióval.

A külön egyenletben meghatározott SACS K_{sa} és CACS K_{ca} segítségével, a teljes optimalizálási modell meghatározható, mint az alábbi összefüggés alapján felírt minimum probléma:

$$\text{Min}_{x, b_{dc}, b_{tr}, b_{CAS}} \delta^T \delta - \text{sum}(b_{dc}) \mid A^* \quad (2.1)$$

$$K_{sa}(a_\tau), \tau = 1, 2, \dots, NA^* \quad (2.2)$$

$$K_{ca}(l_p, l_q), \forall l_p \in a_i^*, l_q \in a_j^* \Rightarrow a_i^*, a_j^* \in A^*, i \neq j \quad (2.3)$$

$$\sum_{p,q} b_{tr}(x_i^{(p)}, x_j^{(q)}) \geq 1, \forall a_i^*, a_j^* \in A^* \Rightarrow i \neq j, b_{dc}(a_i^*, a_j^*) \quad (2.4)$$

$$K_{ca}(l_{tr}, l_\chi) \forall l_{tr} \Rightarrow b_{tr}(l_{tr}) \forall l_\chi \in L_\chi(l_{tr}) \quad (2.5)$$

A fentieknél, a (2.4) korlátozás biztosítja, hogy minden csatlakoztatott eszközpár esetében ki kell választani legalább egy átmeneti utat, amely összeköti a határoló csomópontokat. A (2.5) korlátozás biztosítja, hogy minden kijelölt átmeneti útjelölt, ne lépjen más belső szegmenshez, hacsak nem az az eset lép fel, hogy egy csomópont épül fel.

A fentiek alapján, a modell szerkezetével kapcsolatban megállapítható, hogy ez az Xcity tervezési keretrendszer alapja és földrajzi térképet biztosít a legkülönbözőbb CAV-forgatókönyvek megvalósításához a korlátozott térben, továbbá a forgatókönyv az átmenetek maximális rugalmasságát biztosítja.

A felírt modell alapján, a meghatározott optimalizációs eljárás NP problémára vezet az alkalmazott bináris eszközök következtében (amelyek az eszközformák és kombinált minták érvényességét biztosítják), továbbá néhány korlátozó feltétel sem konvex!

Ennél a módszernél, a túlzott számú bináris változó és a nemlineáris korlátok alkalmazása, jelentős mennyiségű elágazási folyamatot és relaxációs megoldást igényelt, amely a legnagyobb számításai teherré vált a vizsgálatoknál. Az ebből adódó számításai bonyolultság miatt, szerzőknek tovább kell dolgozni a problémák kezelésén (javaslatuk szerint, a probléma szétbontásával történő számítástechnikai megoldásokon).

3. AZ EREDMÉNYEK ÁTTEKINTÉSE ÉS AZ ÚJ MODELLEZÉSI MÓDSZER MEGHATÁROZÁSA

3.1 Az általunk követett új modellezési megfontolások és a módszer

Az előző pontban látottak alapján, a szerzők bemutattak egy tervezési eljárást, korlátozott számú közúti eszköz felhasználásával. Az eredmények azt mutatták, hogy a formulázás hatékonyan irányítja a Xcity konstrukciókat, viszont, a meghatározott módszer az exponenciális számításai komplexitása miatt a gyakorlatban nem alkalmazható és a továbbiakban, a megállapításaik szerint, szétválasztási módszerek alkalmazása jelentheti a jövőbeli irányt.

3.2 A megközelítés és a két módszer lényegi sajátosságának és elemeinek összefoglalása

Az „Xcity” tanulmány egy rendkívül komplex optimalizációs számításokon alapuló tervezési módszert tárgyal, amely a gyakorlatban végrehajthatatlan a tesztpályák előállítására. Esetünkben, a „Zala Zone” tesztpálya viszont már egy megtervezett és egy éven belül megvalósuló tesztpálya, 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 teszteltől a szériatermék fejlesztésig. A környezetvédelem I. Lakatos. (2001, 2012, 2013) és a közlekedésbiztonság növelése céljából egyre jobban előtérbe kerülnek a hibrid-, elektromos- és önvezető autók, amelyek fejlesztéséhez egy megfelelő környezetre van szükség. A pálya lehetőséget biztosít hagyományos járműteszt elvégzésére, továbbá különböző vezetést támogató intelligens, ill., Fuzzy rendszerek vizsgálatára L. Pokorádi. (2000, 2009), T. Portik, L. Pokorádi.(2013), valamint önvezető járművek széleskörű tesztelésére és validálására is. Alkalmos továbbá a legújabb infokommunikációs rendszerek fejlesztésére és tesztelésére, továbbá járműipari K+F tevékenységek folytatására. Az első fázis keretén belül a dinamikai felület, fékfelület, kezelhetőségi pálya, országút, autópálya és a Smart City Zone kerül kivitelezésre. A jövőben nagysebességű ovális pálya, rossz utak, emelkedők, zajmérő felület, medencék, rántó pad állnak majd a tesztelők rendelkezésére.

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 számításai teljesítményt igényel. Ha a „Zala Zone” tesztpályát, - mint modellt tekintjük akkor a valós pályagörbék már valós szektorokból állnak össze. Tehát ennél, valós görbedarabok, szektorok a trajektóriák, az-az a teszt útvonalak építőelemei. 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 valóságúsággal és a számításai kapacitással sem. A modell-vizsgálatainknál, nagy sebességgel történnek a valós teszt utak előállításai, minden geometria-számításai korlát és gépi számításai korlátozás nélkül.

A korlátot ez esetben nem számíthatósági korlát jelenti, hanem a már megtervezett teszt-pálya geometriai adottságaiból származó képességek, amelyek a pálya geometriai elemeinek halmazához kötődnek. Tehát, elvben fennállhat annak a lehetősége, hogy esetleg, matematikai optimalizációs módszerrel lehetett volna még jobb pályát is tervezni. A megépített teszt-pályák esetében, az optimalizációs módszerünk, a teszt-pályán létező trajektóriák halmazán az optimális trajektóriát, ill., az optimális trajektóriákat képes meghatározni.

Ez a hátrány viszont kiküszöbölhető a tervezés alatt álló teszt-pályák értékelésénél és az újratervezési folyamatokban, amelynél rendkívül hatékonyan alkalmazható a módszerünk.

Az összes lehetséges pálya trajektória előállítására, felhasználjuk az általunk kifejlesztett nagyméretű hálózati modellt, közelebbről ennek a kapcsolati mátrixát.

3.3 A felhasznált modell és a Kapcsolati mátrix bemutatása

A modell egy speciális makroszkopikus modell, viszont 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. Ennél, egy tetszőleges G zárt görbe által körülkerített belső hálózatot vizsgálunk. A belső hálózat – esetünkben a teszt-pálya - n szektorból áll (ahol figyelembe vesszük a párhuzamos sávok elemeit is és a sávváltás lehetőségeit is). 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 az s_1, s_2, \dots, s_m , sűrűségű külső (input és output) szektorok, és 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 Smart City parkolók esetében is, mivel a parkolók is általánosított szektorok a modellben. Ennél a modellnél a kapcsolati hipermátrixot alkotó mátrixok közül, csak a K_{11} és K_{12} mátrixok játszanak szerepet, mert általuk képviselve van minden átadás, amely a belső szektorokra vonatkozik. A modellünk differenciálegyenlet-rendszere az alábbi:

$$\dot{x} = \langle L \rangle^{-1} [K_{11}(x, s) x + K_{12}(x, s) s] \quad (3)$$

Ahol: $x \in \mathfrak{R}^n$, $\dot{x} \in \mathfrak{R}^n$, $s \in \mathfrak{R}^m$, $L = \text{diag}\{l_1, \dots, l_n\}$, l_i a főatlóban, a belső szakaszok hossza ($\forall l_i > 0, i=1, 2, \dots, n$), $K_{11} \in \mathfrak{R}^{n \times n}$, $K_{12} \in \mathfrak{R}^{n \times m}$.

A teszt-pálya hálózat forgalmi működését a kapcsolati hipermátrix foglalja egy egységes struktúrájú rendszerbe. A kapcsolati hipermátrix, egyrészt megadja bármely szektor esetében, hogy milyen más szektorokkal áll átadási kapcsolatban, másrészt a kapcsolati mátrixot tartalmazó (3) differenciálegyenlet-rendszer írja le a hálózat minden szektorának a dinamikus forgalmi működését, az-az a teljes hálózat működését. A belső tartomány kapcsolatainál minden típusú kapcsolat fellép, kivéve a külső-külső kapcsolatokat.

A járműsűrűség meghatározása az i -ik belső szektorban a (4) folytonos modell alapján történik a következő módon:

$$\dot{x}_i(t) = \frac{1}{l_i} \left[\sum_{j=1; (j \neq i)}^n v_{ij} x_j(t) + \sum_{q=1}^m v_{iq} s_q(t) - \left(\sum_{r=1; (r \neq i)}^n v_{ri} + \sum_{w=1}^m v_{wi} \right) x_i(t) \right] \quad (4)$$

$(i=1, 2, \dots, n)$

A részletes leírások, a belső automatizmusokra, a disztribúciókra közlekedési lámpairányítási jelekre, az átadási sebességekre stb., a kapcsolatos irodalomjegyzékben megtalálhatók, 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). 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 pontosan illeszkedő, összefüggő folytonos trajektóriákat alkotnak és természetes módon kiválaszthatók.

Az Xcity - módszerrel, minden útelemnek értéke - minőségi jellemzője - van, amelyet figyelembe vesz az egész teszt-útvonal értékének meghatározásánál egy számítással. Ezt, egy bonyolult optimalizációs 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 optimalizálásnál 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 milyen 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 egyenesbe esnek, akkor 0 a csatlakozás értéke. Ha irányváltást is okoz a csatlakozás, akkor a tesztgörbe ennél a csatlakozásnál már bonyolultabb feladatot szab 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.

3.4 Az optimalálás trajektóriák kiválasztására

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

Esetünkben azonban, egy igen elegáns és gyors mátrix-transzformációs kifejtési módszert határozhatunk meg a (3) mátrix alakban felír differenciálegyenlet-rendszert alkalmazó forgalmi modell alapján. A tesztpályán fellépő forgalmat tekintve a (3) egyenletrendszerben, a K_{11} kapcsolati mátrix tartalmazza az (5), belső szektorelemek közötti v_{ij} dinamikus sebesség kapcsolatokat:

$$v_{ij} = S \cdot V \cdot E \cdot \alpha_{ij} \cdot \beta_{ij} \cdot \gamma_{ij} \cdot u_{ij} \quad (5)$$

Ahol:

$$S = S(s_i(t)), V = V(s_i(t), x_j(t), e_i, e_j), \\ E = E(x_j(t)), \alpha_{ij} = \alpha_{ij}(x(t), t), \beta_{ij} = \beta_{ij}(x(t), t), \\ \gamma_{ij} = \gamma_{ij}(x(t), t), u_{ij} = u_{ij}(t)$$

Tehát, K_{11} kapcsolati mátrix meghatározza, hogy tetszőleges „j” szektornál milyen „i” szektorra, vagy szektorokra áramlik szabályozott sebességgel, az ugyancsak szabályozott jármű mennyiség 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 v_{ij} elemeknél csupán az α_{ij} disztribúciót, a szétosztást meghatározó függvényt tartjuk meg és a többi dinamikus szabályozást végző függvény hatását 1 értékkel figyelembe véve elimináljuk, ekkor:

$$v_{ij} = \alpha_{ij}(x(t), t) \quad (6)$$

Ezen kívül, szükséges az is, hogy a főátlóbeli elemek helyébe 0 értékeket írjunk, hogy minden továbblépés eredménye rögzítve maradjon. A valós dinamikus folyamatoknál fellépő járműelvonások hatásainak ennél a vizsgálatnál nincs jelentősége, mert csupán az összes továbblépési lehetőségek meghatározása a feladat, ugyanakkor az összes korábbi szektorokon történt tartózkodás megjelölése, megőrzése egyben szükséges is az összes útvonal meghatározásának a rekonstrukciókhoz.

Az alapkonceptiónk az, hogy minden korábbi szétválás végig pontos nyomot hagyjon a továbbiakban az útvonalon.

útvonalaknál, amelyek a szétválásból származnak. Tehát, **markerek** határozzák meg az egyes útvonalak lefolyását és kialakulását. Ezek a jól azonosítható markerek az α_{ij} disztribúciók, lásd a későbbi (15) és (16) összefüggéseknél.

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

$$\alpha_{ij} = P(i | j) \quad (\text{Esetünkben: } i \neq j) \quad (7)$$

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

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

egy diszkrét Markov láncot határoz meg. Megjegyezzük, hogy mivel az $\alpha_{ij}(x(t), t)$ értéket csak rövid időtartamokra tekinthetők konstansnak és ténylegesen az időtől és a szektorok jármű sűrűség állapot jellemzőjétől is függenek, ezért az itt meghatározott *Markov lánc inhomogén*. A P mátrix elemeire az sem mondható, hogy ezek határozottan pozitívak, mivel nagy számban vannak köztük 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 szétosztásokat (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 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:

$$p_1 = \begin{bmatrix} p \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

A következő, (2) állapot-valószínűségeket p_2 vektor határozza meg, számítása a P mátrix és a p_1 vektor felhasználásával történik, amelyenél a P mátrix tartalmaz az 1-ről történő továbbhaladásra vonatkozó disztribúciós irányokat és értékeket:

$$p_2 = P \cdot p_1. \quad (9)$$

A következő, (3) állapot-valószínűségeket meghatározó p_3 vektor számítása hasonlóan, rekurzív módon történik a P mátrix és a p_2 vektor felhasználásával. Ennél, ugyancsak a P mátrix tartalmaz az 2-ről történő továbbhaladásra vonatkozó disztribúciós irányokat és értékeket:

$$p_3 = P \cdot p_2 \quad (10)$$

Végül, az (n -ik) állapot-valószínűségeket meghatározó p_n vektor számítása ugyancsak rekurzív módon történik a P mátrix és a p_{n-1} vektor felhasználásával:

$$p_n = P \cdot p_{n-1} \quad (11)$$

A Diszkrét Markov láncokra vonatkozó összefüggésre utalva, a feni levezetésből látható, hogy egy lépéses módszerrel is elő állítható a p_n állapot valószínűség vektor a P mátrix n -ik hatványa és a p_1 vektor szorzataként:

$$p_n = P^n \cdot p_1 \quad (12)$$

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:

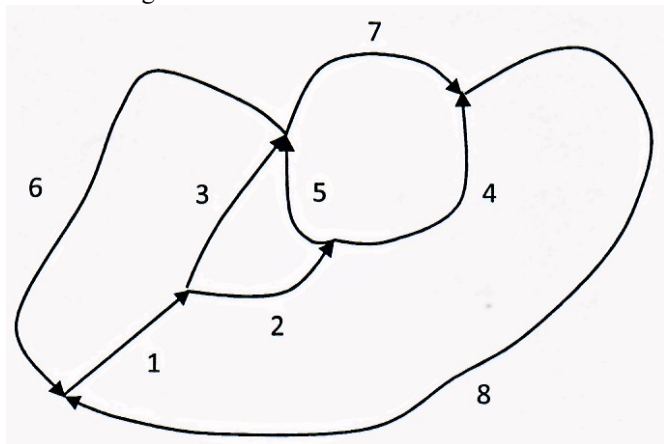
$$p_n = p_{n+1} = p_{n+2} = \dots = p_{n+k} = \dots \quad (13)$$

Ennek az a jelentősége, hogy 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 lehetnek a leghasznosabbak, amelyek a legtöbb szektorból álló, legtávolabbi „outputoknak” tekinthető szektorokhoz vezetnek, mivel ezek nyújthatnak legtöbb lehetőséget a minőségi vizsgálatokhoz. Ezt az 1. ábrán bemutatott példán szemléltetjük a továbbiakban.

3.5 A módszer bemutatása 8 szektorból álló teszt-pálya esetére

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

Tekintsük az alábbi egyszerű példát. Az 1. ábrán egy $n=8$ szektorból álló „teszt-pályát” látunk. Vizsgáljuk meg ezen a pályán, valamely kiválasztott szektorról, (esetünkben legyen ez az 1-es) kialakítható összes lehetséges zárt görbés pályák trajektóriáit, tehát azokat, amelyek az 1-ről indulnak és 1-re érkeznek meg.



1. ábra: A megadott 1. – 8. szektorokból (rész-pályagörbékéből) kialakítható az összes lehetséges pálya trajektória

Tekintsük az 1. ábrán látható teszt-pálya P átmenet valószínűségi mátrixát (14), amely az egymástól különböző i és j elemek közötti kapcsolatot határozza meg.

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \alpha_{2,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \alpha_{3,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{4,2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{5,2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{6,3} & 0 & \alpha_{6,5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{7,3} & 0 & \alpha_{7,5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \alpha_{8,4} & 0 & 0 & \alpha_{8,7} & 0 \end{pmatrix} \quad (14)$$

A kiinduláskor a p_1 vektort tekintve a feltételeknek megfelelően, az 1-es szektoron p valószínűségű a tartózkodás a többi szektoron pedig 0 értéket vesznek fel a tartózkodások valószínűségei:

$$P_1 = \begin{pmatrix} p \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Rendre számítva a továbbhaladás során a szektoron a tartózkodási valószínűségeket:

$p_2 = P \cdot p_1$, $p_3 = P \cdot p_2$, ..., $p_n = P \cdot p_{n-1}$, a következő vektorsorozatot kapjuk, amelyek az állapotvalószínűségeket határozzák meg és a bemutatott példánkban p_5 vektortól fellép a stabilitás:

$$P_2 = \begin{pmatrix} p \\ \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{3,1} p \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad P_3 = \begin{pmatrix} p \\ \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{7,3} \alpha_{3,1} p \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$P4 = \begin{bmatrix} p \\ \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p + \alpha_{6,5} \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{7,3} \alpha_{3,1} p + \alpha_{7,5} \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{8,4} \alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p + \alpha_{8,7} \alpha_{7,3} \alpha_{3,1} p \end{bmatrix}$$

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

Az 1-től 6-ra vezető útvonalakat a 6. koordináta tartalmazza és ezeket az útvonalakat az alfa disztribúciók indexei mutatják!

$$P8[6] = \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p + \alpha_{6,5} \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p \quad (15)$$

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.

$$P8[8] = \alpha_{8,4} \alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p + \alpha_{8,7} (\alpha_{7,3} \alpha_{3,1} p + \alpha_{7,5} \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p) \quad (16)$$

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 (15) és (16) 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 analizisét végezve, csupán az alfa karakter indexeit gyűjtjük ki és az egymás utáni két azonos indexeket csak egyszer vesszük figyelembe. Az így meghatározott számsorozat az útvonal kód, amely az útvonalat alkotó, egymást követő és egymáshoz csatlakozó szektorelemek sorszámait. (Lásd I.,II.,...,V. útvonalak.)

3.6 A számításokra vonatkozó mátrix műveletek bemutatása

Összefoglalva, az 1 inputtól a 6-os és a 8-outputhoz összesen a fenti 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 az I. ábrán látható tesztpálya esetén az összes trajektóriát. Ezek az $i = I., II., \dots, V.$ trajektóriák a (17) **Tr** mátrix soraikban vannak kódolva oly módon, hogy ahol 1-es

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

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

$$P7 = \begin{bmatrix} p \\ \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{3,1} p \\ \alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{6,3} \alpha_{3,1} p + \alpha_{6,5} \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{7,3} \alpha_{3,1} p + \alpha_{7,5} \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p \\ \alpha_{8,4} \alpha_{4,2} \alpha_{2,1} p + \alpha_{8,7} (\alpha_{7,3} \alpha_{3,1} p + \alpha_{7,5} \alpha_{5,2} \alpha_{2,1} p) \end{bmatrix}$$

szerepel az i -ik sorban, az a j szektor része az i -ik trajektóriának:

$$\mathbf{Tr} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

A (18) \mathbf{Ck} mátrix $[i,j]$ elemei az egyes trajektória elemek értékeit tartalmazzák az adott tesztelési program esetén, és a példánkban 8 db. szektorelem van:

$$\mathbf{Ck} = \begin{bmatrix} 1.5 & 2.5 & 3.2 & 5.7 & 4.1 & 7.6 & 3.8 & 9.5 \\ 1.5 & 2.5 & 3.2 & 5.7 & 4.1 & 7.6 & 3.8 & 9.5 \\ 1.5 & 2.5 & 3.2 & 5.7 & 4.1 & 7.6 & 3.8 & 9.5 \\ 1.5 & 2.5 & 3.2 & 5.7 & 4.1 & 7.6 & 3.8 & 9.5 \\ 1.5 & 2.5 & 3.2 & 5.7 & 4.1 & 7.6 & 3.8 & 9.5 \end{bmatrix} \quad (18)$$

A (19) \mathbf{Cv} mátrix $[i,j]$ elemei az egyes trajektória elemeknél a szektorváltozás értékeit adják meg az adott tesztelési program esetén. Az érték az átadó szektorhoz van hozzárendelve.

$$\mathbf{Cv} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 & 1.6 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 1.2 & 0 & 0 & 0 & 1.3 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0.2 & 1.1 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 & 1.6 & 0 & 1.2 & 1.3 \end{bmatrix} \quad (19)$$

A (20) \mathbf{C} mátrix $[i,j]$ elemei az összegzett értékek az egyes trajektória elemeknél az adott tesztelési program esetén:

$$\mathbf{C} = \mathbf{Ck} + \mathbf{Cv} = \begin{bmatrix} 1.5 & 2.5 & 3.7 & 5.7 & 4.1 & 7.7 & 3.8 & 9.5 \\ 1.5 & 3.0 & 3.2 & 5.7 & 5.7 & 8.1 & 3.8 & 9.5 \\ 1.5 & 3.0 & 3.2 & 6.9 & 4.1 & 7.6 & 3.8 & 10.8 \\ 1.5 & 2.5 & 3.7 & 5.7 & 4.1 & 7.6 & 4.0 & 10.6 \\ 1.5 & 3.0 & 3.2 & 5.7 & 5.7 & 7.6 & 5.0 & 10.8 \end{bmatrix} \quad (20)$$

A (21) $\mathbf{C} \circ \mathbf{T}_r$ mátrix $[i,j]$ elemei, a tényleges trajektóriákat alkotó szektorok tesztértékei, ahol a $\mathbf{C} \circ \mathbf{T}_r$ szorzat a két mátrix **Hadamard** szorzata:

$$\mathbf{C} \circ \mathbf{T}_r = \begin{bmatrix} 1.5 & 0. & 3.7 & 0. & 0. & 7.7 & 0. & 0. \\ 1.5 & 3.0 & 0. & 0. & 5.7 & 8.1 & 0. & 0. \\ 1.5 & 3.0 & 0. & 6.9 & 0. & 0. & 0. & 10.8 \\ 1.5 & 0. & 3.7 & 0. & 0. & 0. & 4.0 & 10.6 \\ 1.5 & 3.0 & 0. & 0. & 5.7 & 0. & 5.0 & 10.8 \end{bmatrix} \quad (21)$$

A (22) \mathbf{Sc} vektor, a $\mathbf{C} \circ \mathbf{T}_r$ mátrix sorainak összegzésével nyert vektor, így koordinátái határozzák meg a lehetséges trajektóriák teszt-értékeit:

$$\mathbf{Sc} = \begin{bmatrix} 12.9 \\ 18.3 \\ 22.2 \\ 19.8 \\ 26.0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

A (22) vektor, az összetett tesztértékük szerint tartalmazza az egyes teszt trajektóriákat. Ahol a rangsorol: V.,III., IV., II. és I.

4. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KONKLÚZIÓ

Először a cikkben alkalmazott példa alapján, táblázatos formában foglaljuk össze a pálya értékelésre kidolgozott módszerünket.

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. ábrához tartozó

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	1
I.	1	→	3	→	→	6	→	→	→1
II.	1	2	→	→	5	6	→	→	→1
III.	1	2	→	4	→	→	→	8	→1
IV.	1	→	3	→	→	→	7	8	→1
V.	1	2	→	→	5	→	7	8	→1

2. táblázat: az 1. táblázat elemeit felhasználó mátrix-transzformációs algoritmus alapján, kifejtethetővé válik a tesztpálya 1-es szektorról induló összes különböző trajektória. A táblázat a példában szereplő I.,II., ..., V. trajektóriákat tünteti fel a sorszamaikkal.

	1	2	3	4	5	6	7	8
I.	1	0	1	0	0	1	0	0
II.	1	1	0	0	1	1	0	0
III.	1	1	0	1	0	0	0	1
IV.	1	0	1	0	0	0	1	1
V.	1	1	0	0	1	0	1	1

3. táblázat: A példában szereplő összes trajektória esetén, a létező elemek 1-essel és a nem létező elemek 0-val vannak jelölve

Az alábbiakban a trajektóriák értékelésénél figyelembe vettük az egyes trajektória elemek forgalmi és geometriai értékeit (4. táblázat) az adott tesztelési program esetén, továbbá a szektorváltások értékeit is (5. táblázat).

IRODALOMJEGYZÉK

	1	2	3	4	5	6	7	8
I.	1,5	2,5	3,2	5,7	4,1	7,6	3,8	9,5
II.	1,5	2,5	3,2	5,7	4,1	7,6	3,8	9,5
III.	1,5	2,5	3,2	5,7	4,1	7,6	3,8	9,5
IV.	1,5	2,5	3,2	5,7	4,1	7,6	3,8	9,5
V.	1,5	2,5	3,2	5,7	4,1	7,6	3,8	9,5

4. táblázat: Az egyes trajektória elemek értékei, az adott tesztelési program esetén

	1	2	3	4	5	6	7	8
I.	0	0	0,5	0	0	0,1	0	0
II.	0	0,5	0	0	1,6	0,5	0	0
III.	0	0,5	0	1,2	0	0	0	1,3
IV.	0	0	0,5	0	0	0	0,2	1,1
V.	0	0,5	0	0	1,6	0	1,2	1,3

5. táblázat: Az egyes trajektória elemeknél a szektorváltás értékei az adott tesztelési program esetén. Az érték az átdadó szektorhoz van hozzárendelve

	1	2	3	4	5	6	7	8
I.	1,5	2,5	3,7	5,7	4,1	7,7	3,8	9,5
II.	1,5	3	3,2	5,7	5,7	8,1	3,8	9,5
III.	1,5	3	3,2	6,9	4,1	7,6	3,8	10,8
IV.	1,5	2,5	3,7	5,7	4,1	7,6	4	10,6
V.	1,5	3	3,2	5,7	5,7	7,6	5	10,8

6. táblázat: Az összegzett érték az egyes trajektória elemeknél az adott tesztelési program esetén

	1	2	3	4	5	6	7	8	A teljes trajektória teszt-értéke
I.	1,5	0	3,7	0	0	7,7	0	0	12,9
II.	1,5	3	0	0	5,7	8,1	0	0	18,3
III.	1,5	3	0	6,9	0	0	0	10,8	22,2
IV.	1,5	0	3,7	0	0	0	4	10,6	19,8
V.	1,5	3	0	0	5,7	0	5	10,8	26

A 7. táblázat, a meghatározott értékelési szempontok alapján, rangsorolta az egyes teszt-trajektóriákat az összetett tesztértékük szerint. A sorrend: V., III., IV., II. és I.

Módszerünk, 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 tervezésére.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást támogatta az EFOP-3.6.2-16-2017-00002 azonosítószámú "Autonóm járműrendszerek kutatása a zalaegerszegi autonóm teszt-pályához kapcsolódóan" Projekt.

ACM. THE 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>

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>.

I. Lakatos. (2001) Modern emission test of diesel engines in Europe In: Péter, T (szerk.) Symposium on Euroconform Complex Retraining of Specialists in Road Transport Budapest, Magyarország : BME, (2001) pp. 147-153. , 7 p.

I. Lakatos. (2012) Modeling of a Naturally Aspirated Gasoline Engine in the GT-suite Software Environment In: Matija, Fajdiga; Jernej, Klemenc (szerk.) IAT 2012 - Innovative Automotive Technology, Ljubljana, Szlovénia: Laboratory for Structure Evaluation (LAVEK), (2012) pp. 77-94. , 18 p

I. Lakatos. (2013) Diagnostic measurement for the effective performance of motor vehicles ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA 10 : 3 pp. 239-249. , 11 p. (2013)

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>.

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.
- L. Pokorádi. (2000) Fuzzy logika alkalmazása a repülőtechnika üzemeltetésében REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK (1997-TŐL) XII : 29 pp. 349-356. , 8 p. (2000)
- L. Pokorádi. (2009) Risk Assessment Based upon Fuzzy Set Theory In: Kalmár, F; Kocsis, I; Csomós, Gy; Csáki, I (szerk.) 15th Building Services, Mechanical and Building Industry Days. Vol. 3 Debrecen, Magyarország : Debreceni Egyetem, (2009) pp. 311-318. , 8 p.
- T. Portik, L. Pokorádi.(2013) Fuzzy rule based risk assessment with summarized defuzzification In: Ioan, Cuculescu; Jovo, Jaric; Pasc, Gavruta; Ioan, Golet; Liviu, Cadariu (szerk.) Proceedings of the XIIIth Conference on Mathematics and its Applications Temesvár, Románia : Editura Politehnica, (2013) pp. 277-282. , 6 p.
- 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/>