

JÁRMŰTRAJEKTÓRIA PREDIKCIÓS LEHETŐSÉGEINEK VIZSGÁLATA KLASSZIKUS MÓDSZEREKKEL

INVESTIGATING THE PREDICTIVE POTENTIAL OF VEHICLE TRAJECTORIES USING CLASSICAL METHODS

Dr. Ficzer Péter, egyetemi adjunktus, ficzer.peter@kjk.bme.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Az autonóm járművek esetében a trajektória tervezéshez szükséges bemenő adatok definiálásához a technológiai, valamint az infrastruktúra jellemzőin túl szükség van az emberi szervezet tűréshatárainak, komfortzónáinak meghatározására is. Ezt klasszikus módszerekkel pl. gyorsulásmérésekkel tudjuk meghatározni a már jelenleg is a közúti forgalomban közlekedő járműveken végzett vizsgálatokkal.

ABSTRACT

In the case of autonomous vehicles, in addition to the technological and infrastructure characteristics, the human body's tolerance limits and comfort zones need to be defined in order to define the input data for trajectory planning. This can be determined by classical methods, e.g. acceleration measurements, using tests performed on vehicles on the road.

1. BEVEZETÉS

Az autonóm járműirányítás napjaink egyik legtöbbet kutatott területe. Az nehézségeket nem csak a technológiai kihívások jelentik, hiszen steril környezetben, lezárt pályákon nagyon biztatók az eddigi eredmények. Ugyanakkor a valós körülmények között forgalomban történő tesztelés, validálás már sok kérdést felvet.

Pontosan ilyen okok miatt a szimulációk szerepe az utóbbi időkben jelentős mértékben felértékelődött. A szimuláció ma már nem csak ellenőrzésre szolgál, hanem szerves része a tervezési folyamatnak. A szimulációk segítségével jelentős mértékben csökkenthető a fejlesztési idő és a fejlesztési költség is [1]. A fejlesztési folyamat elején hozott tervezési döntések jelentős hatással vannak a későbbi költségekre. Tehát a hibákat minél előbb ki kell

szűrni. Fontos, hogy pl. egy járműdinamikai szimuláció esetében a járműmodell viselkedése függ:

- a jármű terheléseitől,
- a gumitól
- a gumiban lévő nyomástól
- a gumiban lévő levegő hőmérsékletétől (nyomás)
- a futómű paramétereitől, stb.

Manapság már a futómű alkatrészeit is a mesterséges intelligencián alapuló generatív design segítségével állítják elő, így nem elegendő annak anyagjellemzőit ismerni, fontos meghatározni a teljes alkatrészt, vagy az alkatrész-csoportra vonatkozóan annak látszólagos rugalmasságát [2]. Mivel azonban ezeket a generatív tervezési módszerrel létrehozott alkatrészeket többnyire csak additív gyártástechnológiákkal lehet létrehozni, legyártani ez további komoly megfontolásokat igényel [3].

Ugyanakkor a technológiai kihívásokon túl sok más kérdést is felvetődik e témakörben. A szimulációk során ugyanis gyakorlatilag bármilyen a technológiával megvalósítható értéket ki tudunk vezérelni, de kérdéses, hogy ezt hogy viseli el például az emberi szervezet. Nem mindegy ugyanis, hogy pl. egy előzési manővert milyen ráterheléssel tudunk megvalósítani, hiszen hiába számítjuk ki, hogy még pont visszaérünk, lehet az utas szívrohamot kap az ijedtségtől. Ezért nagyon fontos felmérni, hogy pl. milyen gyorsulásértékek azok, amik még az emberi komfortzónán belül maradnak, ami pedig nagy mértékben különbözhet pl. az eltérő korosztályok között. Ugyanígy fontos az is, hogy pl. egy adott gyorsulásérték milyen hosszú ideig áll fenn és nem mindegy annak iránya sem [4]. Itt kell megjegyezni, hogy nagyon fontos az is, hogy hol mérjük ezeket az értékeket, pl. vázszerkezet, ülés, kormány, stb [5].

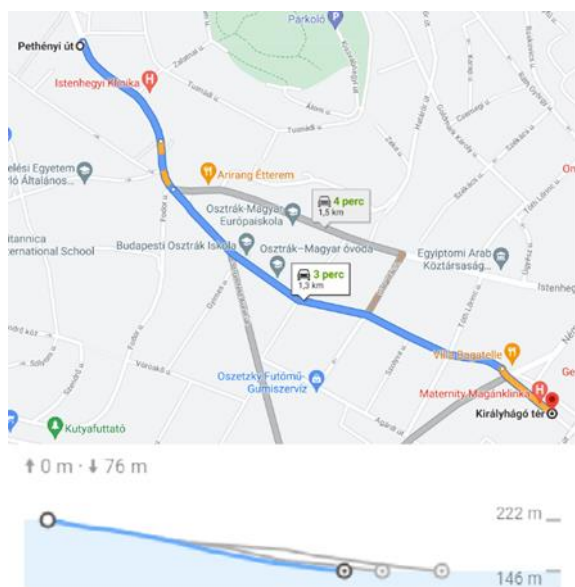
Mindezek alapján látható, hogy már az is egy összetett és nehéz feladat, hogy megbecsüljük, az autonóm járműirányítás során milyen tartományokon (pl. gyorsulásértékek) között kell tartanunk a járműveket. Ehhez legalább kiinduló értéként szolgálhatnak a jelenlegi, nem autonóm járművekben mérhető gyorsulásértékek. Mivel ezek az értékek - valós körülmények közt - nagymértékben különbözhetnek egymástól, ezért célszerű egy alapos vizsgálat, majd egy statisztikai kiértékelés is. Továbbá egy ilyen vizsgálat eredményei jól felhasználhatók egyes dinamikus igénybevételnek kitett alkatrészek kifáradása történő méretezése során is.

2. MÓDSZER

Vizsgálataimat közúti tömegközlekedési eszközön (azonos típusú menetrendszerinti BKV buszok) végeztem. Feltételezhető, hogy távolsági járatokon, valamint kötöttpályás járműveken, személygépjárműveken ettől akár jelentősen eltérő eredményeket kapnánk.

Több, egymástól eltérő jellegű (hegyes, sík szakaszon is végeztem mindkét irányban méréseket. A mérések minden esetben ugyanazon a helyen a vázszerkezet ugyanazon pontján történtek.

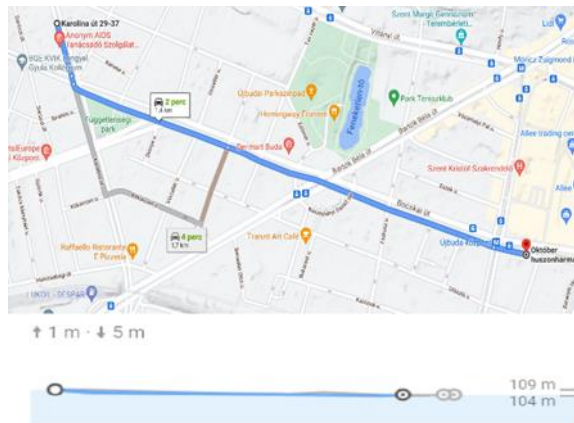
A mérések Budapesten, a BKV 212-es járatának Pethényi út - Királyhágó tér, Királyhágó tér - Pethényi út (1. ábra), valamint a Diószegi út – Újbuda-központ (2. ábra), Újbuda-központ – Diószegi út megállók között történtek.



1. ábra. Pethényi út - Királyhágó tér útvonal és szintrajz

Minden esetben mérésre kerültek az x, y, z irányú gyorsulásértékek, ahol az y irány a jármű hossz tengelyét, a z a függőleges irányt, az x értékek pedig az oldalirányú gyorsulásokat jelentik. A méréseket minden esetben 5-5 alkalommal végeztem el.

Kérdés volt, hogy értelmezhető-e valós mérési körülmények között a hegymenet és lejtmenet között különbség, illetve, hogy az ellentétes irányok ugyanazon útvonalon megfeleltethetőek-e egymásnak, valamint, hogy található-e szignifikáns eltérést a hegyi szakaszok és a sík szakaszok között.



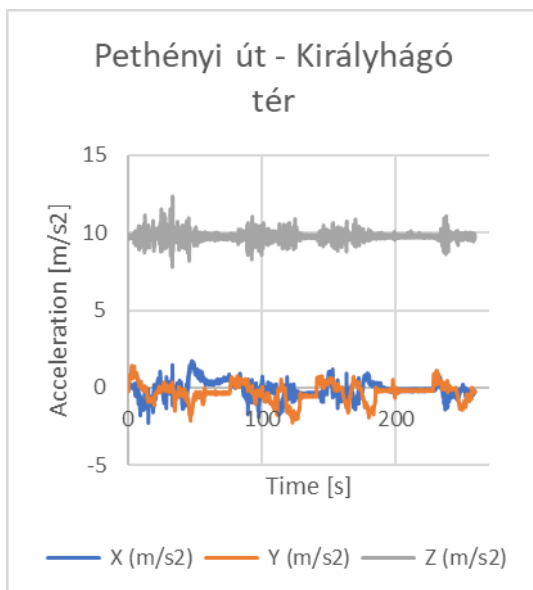
2. ábra Diószegi út – Újbuda-központ útvonal és szintrajz

További méréseket végeztem álló helyzetben járó motor mellett is, hogy ki lehessen szűrni a motor alapjáratú rezgéseit a z irányú gyorsulásokból.

3. EREDMÉNYEK

A mérések során kapott adatsorokat – a megfelelő elemzés és értelmezés érdekében – meg kell tisztítani. Ez azt jelenti, hogy az adatsorok mindegyike ugyanott kell, hogy kezdődjön és végződjön (pl. indulás a megállóból). Ez a valós mérések esetén nem megvalósítható, adatvesztés nélkül, így inkább korábbi indítással esetlegesen megjelenő felesleges adatokat törölni kell.

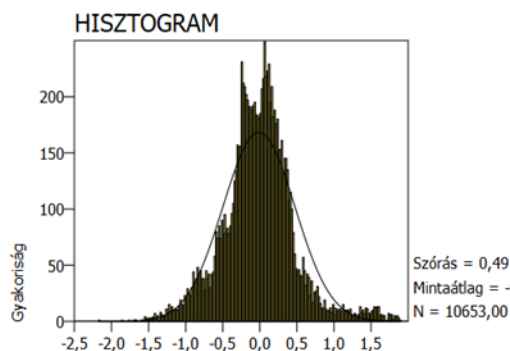
Egy így kapott tisztított eredmény látható a 3. ábrán.



3. ábra Pethényi út - Királyhágó tér útvonalon felvett gyorsulásértékek

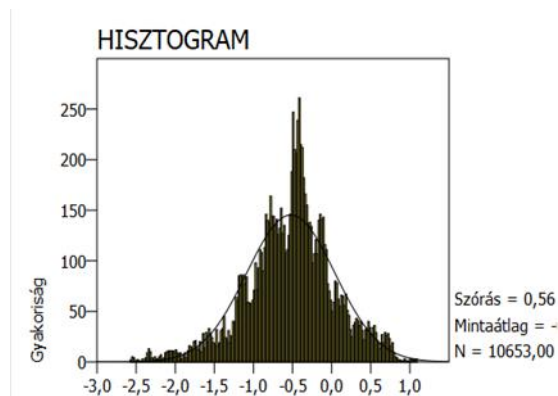
4. ANALÍZIS

A kapott eredmények megfelelő értelmezése érdekében célszerű statisztikai elemzést végezni. Egy ilyen statisztikai kiértékelés eredményét láthatjuk az alábbi ábrákon.



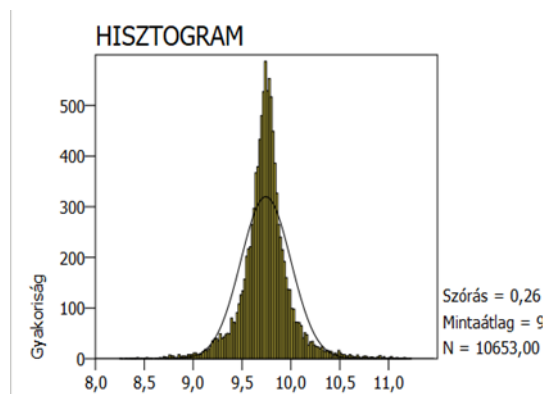
4. ábra Pethényi út - Királyhágó tér útvonalon felvett x irányú gyorsulásértékek statisztikai kiértékelése

A 4. ábrából könnyen leolvasható, hogy megközelítőleg nulla körül rendeződnek az értékek, kis szórással. Ugyanakkor a görbe nem teljesen szimmetrikus, ami - az x irányú gyorsulásértékekről lévén szó - azt jelenti az egyik irányban feltételezhetően több volt a kanyar.



5. ábra Pethényi út - Királyhágó tér útvonalon felvett y irányú gyorsulásértékek statisztikai kiértékelése

Az 5. ábrán a hosszirányú gyorsulásértékek statisztikai kiértékelése látható ugyanazon a szakaszon. Az ábrából jól kivehető a haranggörbe ferdesége, az átlagérték $-0,52$ m/s ami egyértelműen arra utal, hogy lejtőn közlekedtünk. Tehát az eredmények jól tükrözik az 1. ábra alsó részén is látható szintrajzot, azaz a lejtőn történt vizsgálati körülményeket.



6. ábra Pethényi út - Királyhágó tér útvonalon felvett z irányú gyorsulásértékek statisztikai kiértékelése

A 6. ábrát vizsgálva rögtön feltűnik, hogy a középpértéke $9,81$ m/s körülre adódik, ami normális, hiszen ez a gravitációból származó gyorsulásérték folyamatosan hat, az útgerjesztésből adódó gyorsulásértékek erre rászuperponálódnak. Mind emellett kivehető a haranggörbe csúcsossága is. A statisztikai kiértékelés számszerűsített eredményei láthatók az 1. táblázatban.

1. táblázat. Az x, y, és z irányú gyorsulások mérési adatainak statisztikai kiértékelése

	VAR002	VAR003	VAR004
N	10653	10653	10653
Érvényes			
Hiányzó	0	0	0
Mintaátlag	-,01	-,52	9,74
Középérték közepes hibája	,00	,01	,00
Medián	9,75	9,75	9,75
Módusz	,06584	-,37350	9,77433
Szórás	,49	,56	,26
Variancia	,24	,32	,07
Lapultság	1,73	,67	4,65
Lapultság közepes hibája	,05	,05	,05
Ferdeség	,38	-,33	,24
Ferdeség közepes hibája	,02	,02	,02
Terjedelem	4,05	3,66	2,97
Minimum	-2,15478	-2,56778	8,25042
Maximum	1,89142	1,09056	11,22043

Bár a diagramok megmutatják a lényegét, a pontos számadatokat is érdekes lehet megvizsgálni. Így pl. látható, hogy pontosan számszerűen mik a középértékek, milyen a terjedelme a kapott értékeknek és mik a minimum és maximum értékek.

A kapott eredmények megmutatják, hogy jelenleg ember által irányított közúti tömegközlekedési eszközön - valós forgalmi körülmények között – megközelítőleg milyen gyorsulásértékekkel közlekedünk. Ez fontos kiindulópont az autonóm járműirányítás esetén, hiszen a buszvezetők jól képzettek és igyekeznek az utaskomfortot a lehető legmagasabb szinten tartani, miközben felveszik a közlekedő környezet (többi jármű) ritmusát. Amikor egy autonóm járműirányítást tervezünk, akkor ezekből az adatokból könnyen kiolvashatók a tervezési célértékek, a komfortzóna megengedett határai stb.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Összefoglalásként megállapítható, hogy napjaink egyik fő fejlesztési iránya az autonóm járműirányítás egy nagyon sokat vizsgált, ugyanakkor rendkívül szerteágazó, tudományterületeken átívelő téma. A megfelelő járműtrajektóriák megtervezéséhez a megfelelő célokat is meg kell tudni határozni. Ez sokszor nem technológiai kérdés. Ilyen eset pl. az emberek komfortérzete is, ami persze egyéneknél és utazási típusonként is nagyon eltérő lehet. Bár a technológia lehetővé tette lényegesen erősebb hajtásokat, nagyobb sebességeket is, de a gyorsulásból származó igénybevételeket már sokkal kevésbé tolerálja az emberi szervezet. A jelenlegi nem autonóm

járművek esetén is lehetséges volna nagyobb sebességekkel és nagyobb gyorsulásokkal közlekedni, de azt az utazóközönség nem igazán tolerálná, így a sofőrök tulajdonképpen egy megszokásokon és rutinon alapuló normát követnek. Ezt ugyanakkor egy autonóm jármű számára számszerűsített adatokkal kell megadni. Ehhez pedig szükséges a jelenlegi, komfortzónán belüli közlekedés során megvalósuló gyorsulásértékek számszerű ismerete. Mivel azonban ezek a gyorsulásértékek a különböző közlekedési helyzetektől függően jelentősen eltérhetnek, így célszerű hosszabb, releváns, az adott járműre jellemző összes körülményt tartalmazó helyzetet elemezni. Ez viszont sok mérési adatot eredményez, így szükségessé teszi az eredmények statisztikai kiértékelését.

Az itt bemutatott módszer és az elvégzett mérések, illetőleg azoknak statisztikai elemzése alapján már könnyen meghatározhatóvá válnak a járműtrajektóriák tervezési paraméterei.

6. IRODALOM

- [1] Székely, P., Ficzer, P.: The Examination of Dynamic Effects of Shape Optimized Vehicle Components, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 45(2), pp. 90-93., (2017), <https://doi.org/10.3311/PPtr.9875>
- [2] Ficzer, P., Lukács, N.: Examination of possibilities of the strength modification in the case of FDM/FFF manufacturing technology, *Design of Machines and Structures*, 10 : 2 pp. 27-34. , 8 p. (2020)
- [3] Seregi, B. L., Ficzer, P., Borbás, L.: Fémalkatrészek additív és szubtraktív módon történő gyártásának összehasonlítása, *Acta Periodica (Edutus)* 22 pp. 18-32. , 15 p. (2021)
- [4] M. J. Griffin (2007) Discomfort from feeling vehicle vibration, *Vehicle System Dynamics*, 45:7-8, 679-698, DOI:10.1080/00423110701422426
- [5] Fichera, G., Scionti, M., and Garesci, F., "Experimental Correlation between the Road Roughness and the Comfort Perceived In Bus Cabins," *SAE Technical Paper 2007-01-0352*, 2007, <https://doi.org/10.4271/2007-01-0352>.