

Jármútrajektória előállítása gyorsulás szenzorból nyert adatokból

A kutatás célja a korábban létrehozott ACFM (Adaptive Car Following Model) járműmodell validálásához szükséges a valóságban mért járműkövetési távolságok meghatározása. Három változót (gyorsulás, sebesség, távolság) lehet mérni, amelyből számolható a követési távolság.

DOI 10.24228/KTSZ.2019.5.2

Mika Péter

Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola
Széchenyi István Egyetem, Győr
e-mail: mikap9028@gmail.com

1. BEVEZETÉS

A járműkövetés modellezésénél a követési időt vagy a követési távolságot lehet alapul venni. Az előbbinél a pályába épített érzékelővel, az utóbbinál a forgalommal együtt haladva lehetséges a mérés. A járműtrajektóriából bármelyik adat előállítható, ezáltal lehetővé válik mind a követési idő, mind a követési távolság forgalomban történő meghatározása.

A járműtrajektória a közlekedéstervezésben használt fogalom, amely a jármű által megtett utat írja le az idő függvényében egy adott útszakaszon. A pályaszakasznak csak a hossza számít, a magassági, illetve a vízszintes vonalvezetését figyelmen kívül hagyjuk. A közlekedéstervezés során szükség lehet a forgalom modellezésére, amely több szinten valósulhat meg. A közlekedésmodellezés [1] [2] célja a tervezett intézkedések várható hatásainak bemutatása, a különböző tervváltozatok összehasonlítása a forgalomáramlásra gyakorolt hatása szerint. A modellek segítségével szélsőséges esetek is vizsgálhatók, továbbá előre becsülhető az úthálózat jövőben várható forgalmi terhelése. Nagyobb

kiterjedésű úthálózatot, mint például egy ország vagy város makroszkopikus szinten modellezünk, amely során ráterhelést alkalmazunk. Általában stratégiai célok megvalósításához, úthálózat fejlesztés során döntéshozatali eljárásokban alkalmazható ez a fajta modell. Kisebb területeken, egyes útszakaszok, csomópontok forgalom lefolyásának részletes vizsgálatához mikroszkopikus modellt használunk, ahol az időnek kiemelt szerepe van.

A makroszkopikus modell [10] a forgalom lefolyását írja le forgalmi változók segítségével. Ebben a modellben az egyes járművek mozgása nem lényeges, csak a forgalomnagyság változása, amelyből az úthálózat terheltsége megállapítható. Ebben az esetben a forgalomnagyság, a forgalom sebessége és a forgalom sűrűsége a forgalmi változó, amely közötti összefüggést Greenshields [3] írta le 1935-ben, miután forgalmi vizsgálatot végzett, amelynek eredményét különböző diagramokon ábrázolta. Így alkotta meg a ma is használt fundamentális diagramot, amely a forgalomnagyságot ábrázolja a forgalomsűrűség függvényében, és ez a makroszkopikus forgalmi modellezés alapja.

A mikroszkopikus modellben a járművek mozgásának matematikai leírására a járműkövetési modellek szolgálnak. Napjainkban egyre több olyan jármű vesz részt a közlekedésben, amelyek olyan rendszerekkel vannak felszerelve, amelyek a jármű dinamikai viselkedését kedvezően befolyásolják, ezzel segítve a járművezetőt a manőverezésben, ami így növekvő közlekedésbiztonságot eredményez. A közlekedésbiztonság növekedése mellett más hatást is eredményez ezeknek a járműveknek a közlekedésben való részvétele. A jobb menetdinamika miatt nagyobb gyorsulásértékek és kisebb követési távolságok alakulnak ki a közlekedés során, ami a sorban kialakuló oszcillációra kedvezőtlenül hat. A mikroszkopikus modellekben ezt a tényezőt nem lehet figyelmen kívül hagyni, ezért szükségessé vált újfajta járműkövetési modellek kidolgozása [4][5][6].

A járműkövetési modellek a jármű pillanatnyi gyorsulásértékét számítják ki, amely gyorsulást valamely paraméter, általában az egyes járművek sebessége befolyásolja. Van olyan modell, amely a számításnál a követési távolságot veszi figyelembe. Ez az adaptív járműkövetési modell (ACFM) [6], ami meghatároz egy érzékenységi tényezőt, ezáltal a valóságot jobban tükröző gyorsulásértékeket kapunk és nem okoz túlzott reakciót.

2. A TRAJEKTÓRIA ELŐÁLLÍTÁSA, A KÖVETÉSI TÁVOLSÁG, A KÖVETÉSI IDŐ SZÁMÍTÁSA

A közúti közlekedés térben és időben lezajló folyamat, amelynek egyik szemléltető eszköze a járművek mozgásának tér-idő diagramon történő ábrázolása [7][8][9]. Ehhez minden jármű pozícióját menet közben rögzíteni kell. Makroszkopikus szinten a megfigyelés álló koordináta rendszerben történik és vagy egy adott időpillanatban mérjük le a távolságokat, vagy egy adott helyen a követési időket, így határozzuk meg a forgalomnagyságot, illetve a forgalom sűrűségét. Mikroszkopikus esetben egy jármű $t=0$ időpontbeli kezdőpozícióját az $x_1(0)$, trajektóriáját az $x_1(t)$ adja meg 1.ábra. Az s követési távolság változása pedig matematikailag a következő módon írható le:

$$s(t) = x_1(t) - x_2(t) \quad (1)$$

ahol x_1 az 1-es számú, x_2 az 2-es számú jármű pozíciója a t pillanatban.

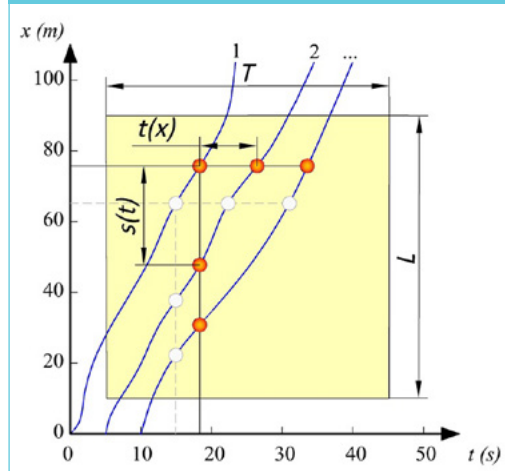
Az t követési idő változását akkor kapjuk meg, ha a tér különböző pontjain vesszük fel a követési időket, így a követési idő az alábbi képlettel számítható:

$$t(x) = t_2(x) - t_1(x) \quad (2)$$

ahol t_1 az 1 számú, t_2 a 2 számú járműre vonatkozó időpillanat az x helyen.

A mikroszkopikus modellekben a járművek mozgását tér-idő, sebesség-idő, gyorsulás-idő függvények írják le. Bármelyik paraméter mérhető, így abból számítással előállítható a másik kettő.

1. ábra: A követési idő és a követési távolság változása. (saját szerkesztés)



3. A JÁRMŰ GYORSULÁSÁNAK MÉRÉSE, AZ ADATOK RÖGZÍTÉSE

A mérés végrehajtásához felhasznált mérőeszközök:

- *Okostelefon:*
A beépített szenzor típusa BOSCH BMI120
- *Távolságmérő:*
LEICA DISTO S910+Tripod

A vizsgálathoz az alábbiak a kutatási kérdések:

- Befolyásolja-e a mérés végeredményét a gyorsulás szenzor dőlésszöge?
- Van-e összefüggés a jármű sebessége és a mérési eredmény pontossága között?
- Van-e összefüggés a mintavételi darabszám és a mérési eredmény pontossága között?

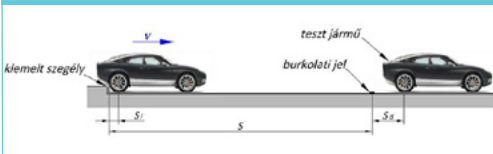
A méréshez először a helyszínt választottam ki. A kiválasztásnál szempont volt, hogy legyen legalább egy 100 m hosszúságú egyenes útszakasz, amely közel vízszintes és a keresztése is enyhe. A Győri Ipari Parkban, az Almafa utca végén találtam egy zsákutcát, aminek a forgalma elenyésző, és az utca végén a burkolatot kiemelt szegélykő zárja, ami kiválóan alkalmas a jármű pontos pozicionálásához. Először a 100 m-es szakaszt jelöltem ki az útburkolaton a távolságmérő segítségével. A szegélykő felső éle és a burkolati jel középvonala S távolságra van egymástól (2. ábra), viszont számolni kell azzal, hogy ha a szegélykőhöz áll a jármű, akkor a kerék nekiütöközik

a szegélynek, így annak tengelyvonala S_1 távolságra kerül. A távolságok mérése a lézeres távolságmérő segítségével cm pontossággal történt. A jelig megtett távolság 99,70 m-re csökkent.

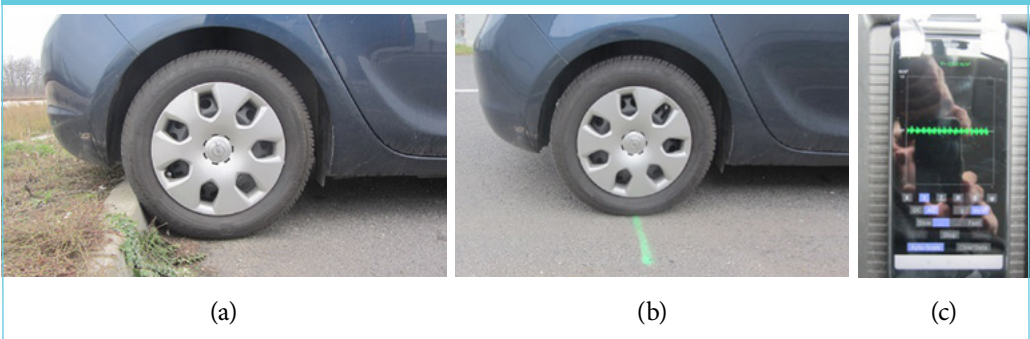
A tesztjárművel nem lehetett pontosan a vonalon megállni, ezen kívül a számítás során alkalmazott korrekciós tényezőhöz szükséges maximális sebességet km/h-ban, a mérés irányát, valamint a burkolati jel felé történt mérésnél a hátsó kerék burkolati jeltől való eltérését cm-ben, minden mérés alkalmával jegyzőkönyvben rögzítettem.

A gyorsulás adatok rögzítését okostelefonnal végeztem, amit a középkonzolon a váltókar mögötti közel vízszintes felületen rögzítettem, ügyelve arra, hogy menet közben ne tudjon elmozdulni (3. ábra). A kiemelt szegély környezetében a gépjármű közel vízszintes helyzetben volt, ennek ellenére a műszert vízszintbe állítottam, majd egyirányú méréseket végeztem a burkolati jel felé. Ez után az ellenkező irányba végeztem méréseket úgy, hogy induláskor az első kerék a burkolati jelen volt, a műszer vízszintes helyzetben, a jármű pedig a kiemelt szegélykőnél állt meg. A harmadik mérésorozat alkalmával oda-vissza történt a mérés, a műszert egyszer állítottam vízszintbe a kiemelt szegély környezetében, viszont az első mérés a kiemelt szegély irányába történt. A mérési adatokat összegző 1. táblázatból látszik, hogy ebben a mérési sorozatban a vissza úton, vagyis a kiemelt szegély felé magasabb

2. ábra: Az útszakasz kijelölése. (saját szerkesztés)

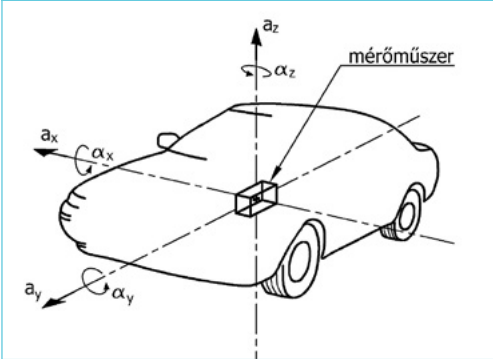


3. ábra: A tesztjármű kezdő- és végpozíciójának, valamint az adatrögzítő elhelyezésének illusztrálása, nevezetesen (a) kiemelt szegély, (b) burkolati jel, (c) okostelefon. (saját szerkesztés)



számított értékek adódtak. Azért, hogy még változatosabb legyen a mérés különböző sebességekre gyorsítottam fel menet közben.

4. ábra: A gyorsulás irányok értelmezése, a műszer elhelyezkedése a járműben. (saját szerkesztés)



A mérőműszert úgy állítottam be a járművön belül, hogy az x tengely a jármű keresztirányú, az y tengely a jármű haladási irányának megfelelő, a z tengely pedig a függőleges irányú gyorsulást mérje (4. ábra).

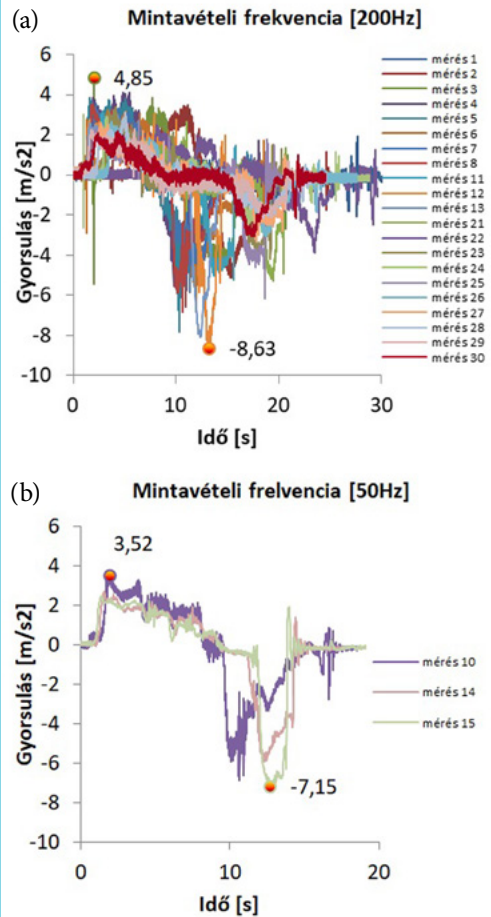
4. A RÖGZÍTETT ADATOK KIÉRTÉKELÉSE

A mérést végző program sok adatot gyűjt, méri az x, y, z irányú gyorsulásokat. A lejtőn a dőlésszög miatt a gyorsulás értéke megváltozik. Az utolsó tíz mérésből (1. táblázat) jól látszik, hogy milyen mértékben befolyásolja a kezdeti dőlésszög a számított távolság értéket.

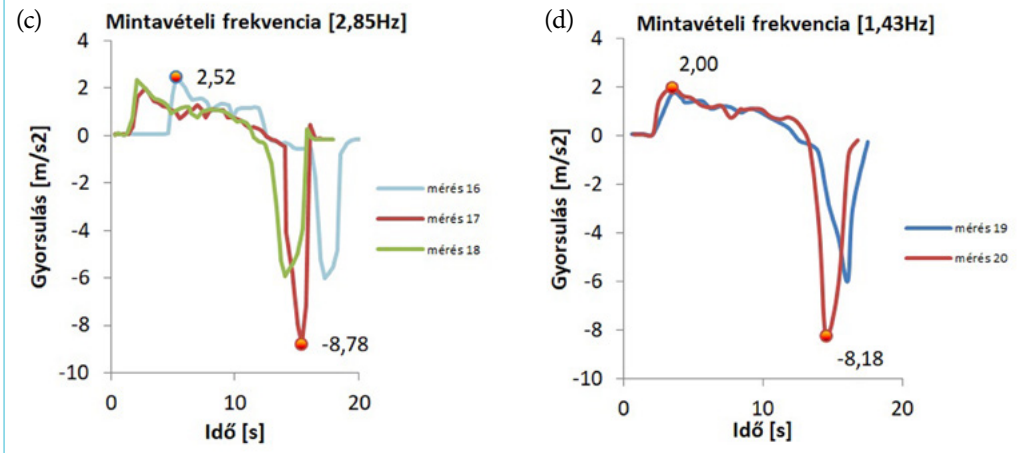
A mérés során beállítható a mintavételi frekvencia, amely 1,43-200 Hz között 4 diszkrét értékre állítható. A mérési eredményeket összehasonlítva látható, hogy minden mérés azonos mintát követ, vagyis egyértelműen látszik a jármű hirtelen elindulása, a gyorsítási szakasz, majd az azt követő lassítási szakasz, végül visszatér 0 közeli állapotba (5. ábra). Az is látszik, hogy nem mindig tér vissza a nullába, ez az út hosszúságával magyarázható. Tehát már minimális 1% alatti hosszúság is hatással van a mérésre. A számítás során kiderült, hogy egy bizonyos pont után csökkenni kezd a távolság,

ami lehetetlen, mivel csak előre történt a mozgás, ezért ez nem csökkenhet, vagyis a számítás során nem az utolsó sorban lévő adat a helyes, hanem a számított maximum. Tehát az első kérdésre egyértelműen az a válasz, hogy a műszer dőlésszöge befolyásolja a mérés végeredményét. Megfigyelhető továbbá, hogy a mintavételi frekvencia csökkenésével nem tűnnek el a kiugró értékek, sőt a negatív értékek esetén hasonlóan alakulnak. A pozitív értékeknel a kiugrások között egyértelmű különbség mutatkozik, amelyet a csekély számú minta okoz.

5. ábra: A szenzor a_x irányú gyorsulás adatai különböző mintavételi frekvencia (a) 200Hz, (b) 50Hz, (c) 2,85Hz, (d) 1,43Hz szerint ábrázolva. A kiugró értékek jelölve vannak a diagramokon. (saját szerkesztés)



5. ábra: Folytatás c, d,



1. táblázat A normál mérési eredmények összefoglalása. (saját szerkesztés)

s.sz.	Mérés iránya	Jeltől való eltérés (m)	Mintavételi frekvencia (Hz)	Mintavétel időtartama (s)	Mintavételi darabszám (db)	Mért távolság (m)	Számított távolság (m)	Távolság eltérés (m)	Mért sebesség maximuma (km/h)	Pontosság
1	KSZ	0	200	30,98	6196	99,70	100,11	0,41	31	99,59%
2	KSZ	0	200	27,24	5448	99,70	100,67	0,97	51	99,03%
3	KSZ	0	200	24,08	4816	99,70	101,98	2,28	47	97,71%
4	KSZ	0	200	20,39	4078	99,70	103,75	4,05	53	95,94%
5	KSZ	0	200	18,85	3770	99,70	103,54	3,84	51	96,15%
6	KSZ	0	200	20,31	4062	99,70	102,93	3,23	52	96,76%
7	KSZ	0	200	18,92	3784	99,70	103,84	4,14	51	95,85%
8	KSZ	0	200	19,95	3990	99,70	104,32	4,62	51	95,37%
9	KSZ	0	200	18,53	3706	99,70	102,91	3,21	52	96,78%
10	KSZ	0	50	54,55	2728	99,70	105,71	6,01	17	93,97%
11	BJ	-0,42	200	17,52	3504	99,28	102,93	3,65	41	96,32%
12	BJ	0,02	200	16,08	3216	99,72	100,38	0,66	44	99,34%
13	BJ	0,31	200	17,02	3404	100,01	100,66	0,65	46	99,35%
14	BJ	0,97	50	17,64	882	100,67	99,63	-1,04	43	98,97%
15	BJ	0,22	50	19,09	955	99,92	100,20	0,28	42	99,72%
16	BJ	-0,10	2,85	20,35	58	99,60	104,29	4,69	40	95,29%
17	BJ	-0,99	2,85	17,47	50	98,71	100,12	1,41	39	98,57%
18	BJ	-0,62	2,85	17,89	51	99,08	98,18	-0,90	41	99,09%
19	BJ	-0,04	1,43	17,51	25	99,67	98,50	-1,17	39	98,83%
20	BJ	-0,11	1,43	16,79	24	99,60	100,69	1,10	44	98,90%
21	KSZ	0	200	23,90	4780	99,70	134,74	35,04	31	64,85%
22	BJ	-0,35	200	33,35	6670	99,35	105,78	6,43	31	93,53%
23	KSZ	0	200	23,74	4748	99,70	130,38	30,68	31	69,23%
24	BJ	0,97	200	28,78	5756	100,67	100,75	0,08	29	99,92%
25	KSZ	0	200	22,36	4472	99,70	128,57	28,87	28	71,04%
26	BJ	-0,1	200	27,57	5514	99,60	100,94	1,34	29	98,65%
27	KSZ	0	200	23,12	4624	99,70	127,11	27,41	30	72,51%
28	BJ	-0,62	200	24,61	4922	99,08	99,53	0,45	28	99,55%
29	KSZ	0	200	23,13	4626	99,70	124,22	24,52	31	75,41%
30	BJ	-0,11	200	24,51	4902	99,60	98,26	-1,33	28	98,66%
										93,16%

*KSZ Kiemelt szegély felé
**BJ Burkolati jel felé

2. táblázat A korrigált mérési eredmények összefoglalása. (saját szerkesztés)

s.sz.	Mérés iránya	Jeltől való eltérés (m)	Mintavételi frekvencia (Hz)	Mintavétel időtartama (s)	Mintavételi darabszám (db)	Mért távolság (m)	Korrektíós tényező	Korrigált számított távolság (m)	Távolság eltérés (m)	Mért sebesség maximuma (km/h)	Pontosság
1	KSZ	0	200	30,98	6196	99,70	-0,0112	97,62	-2,08	31	97,91%
2	KSZ	0	200	27,24	5448	99,70	-0,0105	98,63	-1,07	51	98,93%
3	KSZ	0	200	24,08	4816	99,70	-0,0175	99,39	-0,31	47	99,69%
4	KSZ	0	200	20,39	4078	99,70	-0,0169	101,93	2,23	53	97,76%
5	KSZ	0	200	18,85	3770	99,70	-0,0310	100,82	1,12	51	98,88%
6	KSZ	0	200	20,31	4062	99,70	-0,0147	101,10	1,40	52	98,60%
7	KSZ	0	200	18,92	3784	99,70	-0,0155	102,04	2,34	51	97,65%
8	KSZ	0	200	19,95	3990	99,70	-0,0119	102,98	3,28	51	96,71%
9	KSZ	0	200	18,53	3706	99,70	-0,0001	102,90	3,20	52	96,79%
10	KSZ	0	50	54,55	2728	99,70	-0,0550	101,46	1,76	17	98,23%
11	BJ	-0,42	200	17,52	3504	99,28	-0,0098	101,76	2,48	41	97,50%
12	BJ	0,02	200	16,08	3216	99,72	-0,0140	99,00	-2,42	44	99,28%
13	BJ	0,31	200	17,02	3404	100,01	-0,0130	99,44	-0,57	46	99,43%
14	BJ	0,97	50	17,64	882	100,67	-0,0193	97,75	-2,92	43	97,10%
15	BJ	0,22	50	19,09	955	99,92	-0,0085	99,41	-0,51	42	99,49%
16	BJ	-0,10	2,85	20,35	58	99,60	-0,0120	102,29	2,69	40	97,30%
17	BJ	-0,99	2,85	17,47	50	98,71	-0,0163	98,19	-0,52	39	99,47%
18	BJ	-0,62	2,85	17,89	51	99,08	-0,0006	98,11	-0,97	41	99,02%
19	BJ	-0,04	1,43	17,51	25	99,67	-0,0073	97,51	-2,16	39	97,84%
20	BJ	-0,11	1,43	16,79	24	99,60	-0,0220	98,84	-0,75	44	99,24%
21	KSZ	0	200	23,90	4780	99,70	-0,1310	101,05	1,35	31	98,65%
22	BJ	-0,35	200	33,35	6670	99,35	-0,0186	100,32	0,97	31	99,02%
23	KSZ	0	200	23,74	4748	99,70	-0,0755	109,44	9,74	31	90,23%
24	BJ	0,97	200	28,78	5756	100,67	0,0018	100,15	-0,52	29	99,48%
25	KSZ	0	200	22,36	4472	99,70	-0,1370	99,56	-0,14	28	99,86%
26	BJ	-0,1	200	27,57	5514	99,60	0,0010	101,26	1,66	29	98,33%
27	KSZ	0	200	23,12	4624	99,70	-0,0730	108,11	8,41	30	91,56%
28	BJ	-0,62	200	24,61	4922	99,08	-0,0090	98,32	-0,76	28	99,23%
29	KSZ	0	200	23,13	4626	99,70	-0,0805	104,12	4,42	31	95,57%
30	BJ	-0,11	200	24,51	4902	99,60	0,0034	98,97	-0,63	28	99,37%

*KSZ Kiemelt szegély felé
**BJ Burkolati jel felé

A gyorsulás adatokból számítással meghatároztam a távolság adatokat (5), (6), (7) amelyet az 1. táblázatban foglaltam össze, ezek a normál számított távolságok. A mért távolság meghatározása lézeres távolságmérő és mérőszalag segítségével történt.

A táblázat utolsó oszlopában a számított távolságok pontosságát határoztam meg a mért és a számított távolságok különbségéből, vagyis a mérés hibájából, ami korrekció nélkül 93% pontosságot eredményezett.

Mivel a pontosságnak nincsen általános érvényű definíciója, ezért én ebben a vizsgálatban úgy definiálom, hogy a távolság eltérés, vagy más néven mérési hiba elfogadható mértéke az egy személyautó átlagos hosszának fele, vagyis 2,5 m.

Azért, hogy a számított távolság értékek jobban közelítsenek a mért távolsághoz egy a_k korrekciós tényezőt vettem figyelembe.

A korrekciós tényező a mért sebességtől függ és minden mérés sorozatra egyedi, így az átszámított eredmények alapján a pontosság 98%-ra nőtt (2. táblázat). A gyorsulás szenzor dőlésszöge miatt a számított távolság a megállást követően csökken. Ezért, ha a megtett távolságot függvényként írjuk fel, akkor annak meghatározása egy optimalizálási feladat, aminek az általános alakja:

$$\max S(t), \quad t \in R^+ \quad (3)$$

Először a gyorsulást korrigáltam az a_k gyorsulás értékkel, amely egy konstans szám. Az $a_y(t)$ pedig a mért gyorsulás érték, így a pillanatnyi gyorsulás a következő képlettel számolható:

$$a(t) = a_y(t) + a_k \quad (4)$$

A sebesség a gyorsulás-idő grafikon görbe alatti területe:

$$v = \int_{t_1}^{t_2} a \, dt \quad (5)$$

A megtett távolság a sebesség idő grafikonon görbe alatti területe:

$$S = \int_{t_1}^{t_2} v dt \quad (6)$$

A korrekciós tényező értékét úgy határoztam meg, hogy a kiszámolt sebesség maximuma megegyezzen a mért értékkel, majd hozzáadtam minden egyes mérési adathoz, így kaptam meg a 2. táblázatbeli korrigált számított távolság értékeket.

Mivel a mérést különböző sebességekkel és mintavételi frekvencián végeztem, ezért elvégezhető a *sebesség-pontosság*, valamint *mintavételi darabszám-pontosság* közötti összefüggés vizsgálat, amelynek eredményét a 6. ábra mutatja.

A mérési adatok közötti összefüggés leírására a korrelációs együttható szolgál. A vizsgálatból kideríthető a két adat közt lévő kapcsolat létezése, iránya, illetve az összefüggés szorosága. A számításhoz a Pearson-féle korrelációs együtthatót alkalmaztam.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (7)[1]$$

Ha az $r(x,y)=\pm 1$, akkor a két változó között lineáris a kapcsolat, pozitív előjel esetén

egyenes, negatív előjel esetén pedig fordított. A szorosságot az határozza meg, hogy az r értéke mennyire áll közel a -1-hez vagy a 1-hez. A nullaközeli állapot pedig azt jelenti, hogy gyenge, illetve hogy nincs lineáris kapcsolat a két változó között.

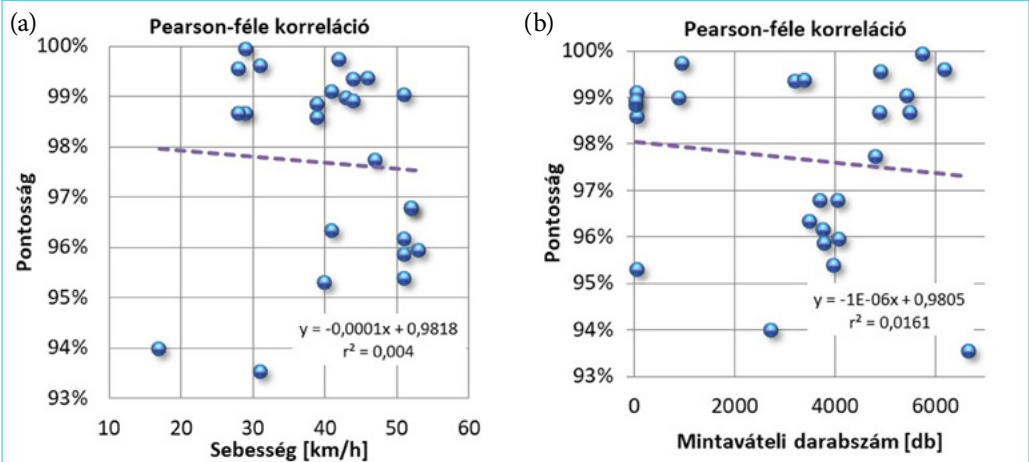
Korrelációs számítással megvizsgáltam a sebesség pontosságra gyakorolt hatását. A 60% és 80% közötti értékek a műszer beállításából adódó hiba, ezeket nem vettem számításba, így a sebesség-pontosság összefüggésre a korreláció értéke $r^2=0,004$, a mintavételi darabszám-pontosság között pedig $r^2=0,0161$. Ez választ ad a második és harmadik kutatási kérdésre, mivel mindegyik nulla közeli állapot, ezért a sebesség, valamint a mintavételi darabszám nem befolyásolja a mérés pontosságát.

5. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A mérési eredményeket út-idő diagramokon mutatom be. A mért gyorsulást tudtam mérni megfelelő pontossággal menet közben, így ebből állítottam elő a járműtrajektóriákat, abból pedig a távolság különbségeket.

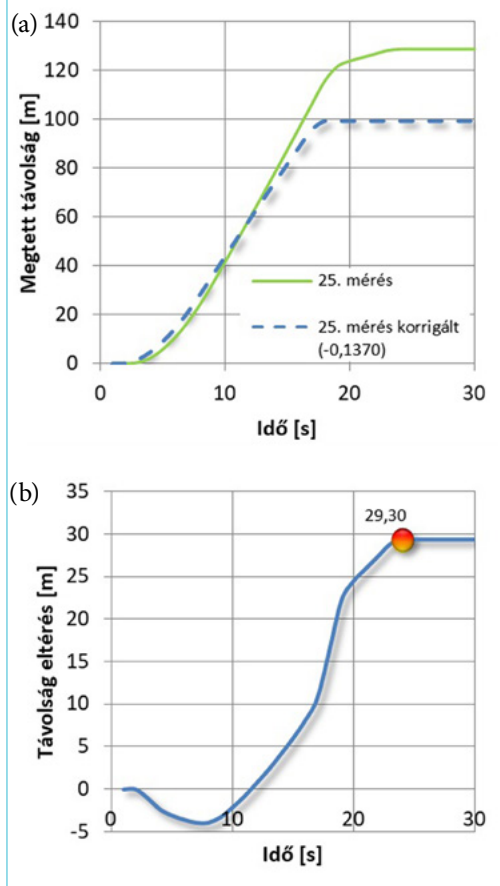
Megvizsgáltam egy a normál mérések között alacsony pontosságú mérést (7. ábra). Önmagával összehasonlítva látható, hogy a korrigált trajektória vége megközelíti a várt értéket a

6. ábra: A korreláció vizsgálat eredménye (a) sebesség-pontosság, (b) mintavételi darabszám-pontosság. (saját szerkesztés)



99,70 m-t. A távolság különbség időbeni alakulásából jól látszik, hogy korántsem egyenletes és a maximuma 29,30 m, tehát korrigálást követően ennyivel csökkent a számított távolság értéke.

7. ábra: (a) Az eredeti 25. mérés és a 25. korrigált mérés trajektóriái (b) a távolság eltérés időbeni alakulása. (saját szerkesztés)

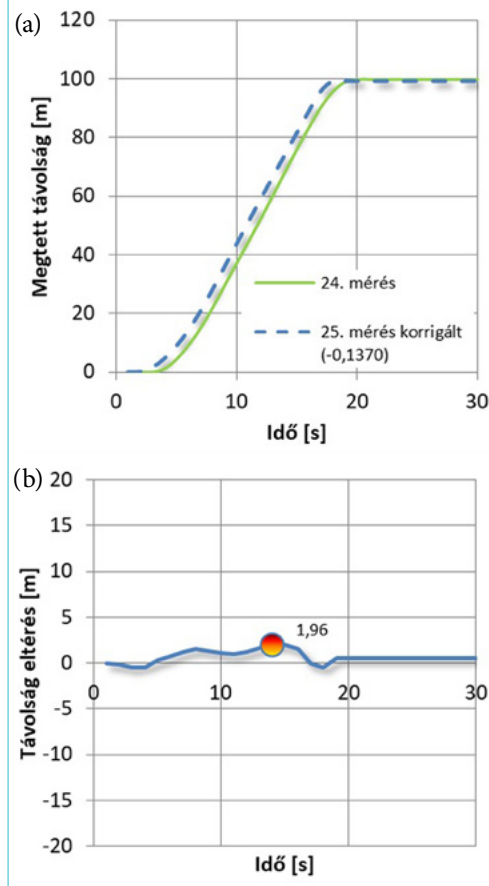


A további vizsgálatokhoz kiválasztottam a normál táblázatból a 30 km/h körüli értékek közül a legnagyobb pontosságú mérést, ami a 24. sorban van, és 99,92%-os a pontossága. Ez lesz a viszonyítási alap.

Két szélsőséges esetet különítettem el. Az egyik esetben a legjobb korrigált mérést, a másik esetben a legrosszabb korrigált mérést hasonlítottam a viszonyítási alaphoz.

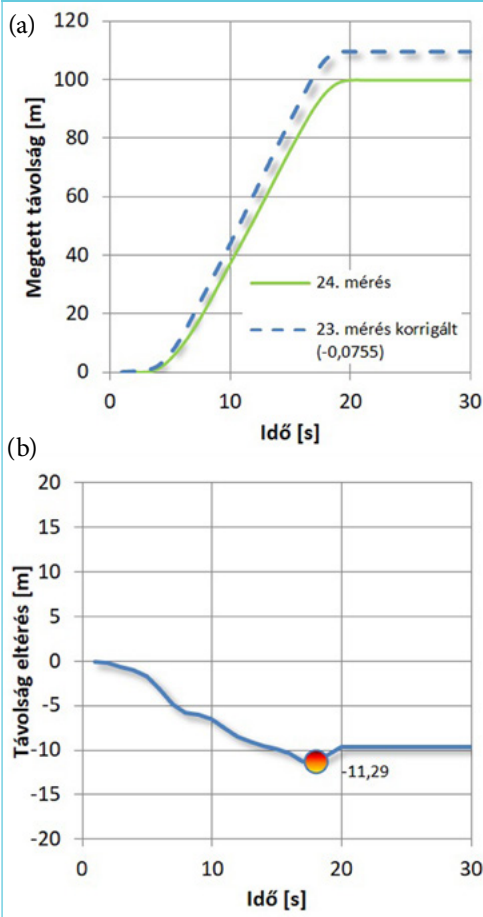
A **legjobb esetben** a korrigált táblázatból a 25. mérést választottam, aminek pontossága 99,86%. A 8. ábra szemlélteti a két trajektória közti különbséget, amely szerint 1,96 m a legnagyobb eltérés menet közben. Ez a mérés egy jármű hossz felénél kisebb tévedést jelent, tehát alkalmas lehet a validáláshoz.

8. ábra: (a) Az eredeti 24. mérés és a 25. korrigált mérés trajektóriái (b) a távolság eltérés időbeni alakulása. (saját szerkesztés)



A **legrosszabb esetben** a korrigált táblázatból a 23. mérést választottam, aminek pontossága 90,23%. A 9. ábrán látható trajektóriák az előző esethez képest nagyobb eltérést mutatnak, az alacsonyabb pontosság miatt. A tévedés mértéke ebben az esetben 11,29 m, ami a pontosság definíciója szerint nem elfogadható.

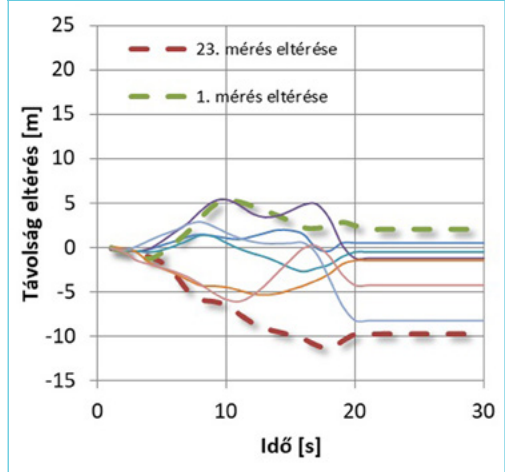
9. ábra: (a) Az eredeti 24. mérés és a 23. korrigált mérés trajektóriái (b) a távolság eltérés időbeni alakulása. (saját szerkesztés)



A következő 10. ábra a 30-as sebességhez tartozó csoportban lévő összes mérés eltéréseit mutatja. Jól látszik, hogy az első időpillanatban mindegyik a nulla pontból indul majd a végén vagy pozitív, vagy negatív értéket vesz fel, tehát két szélső görbe közt van az összes többi. Ha a szélső görbéket elemezzük, akkor ez azt jelenti, hogy az alábbi vizsgálat összhangban van a táblázattal, ugyanis a táblázatban szereplő két legnagyobb eltérést mutató mérés az 1. és a 23.

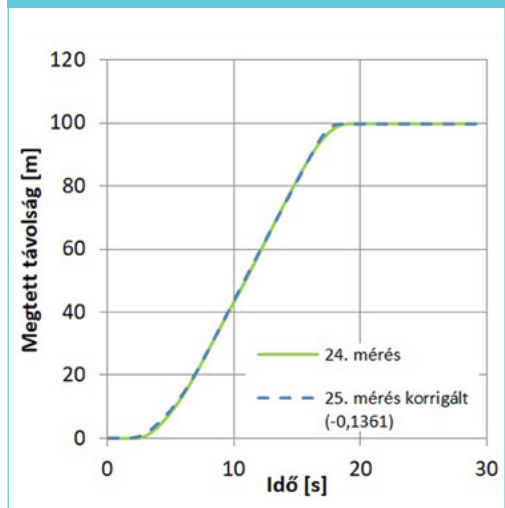
Abban az esetben, ha tovább szeretnénk javítani a mérés pontosságát, akkor a korrekciós

10. ábra: Az eredeti 24. méréshez viszonyított, a 30km/h sebességértékek körüli korrigált mérések távolság eltérései. (saját szerkesztés)

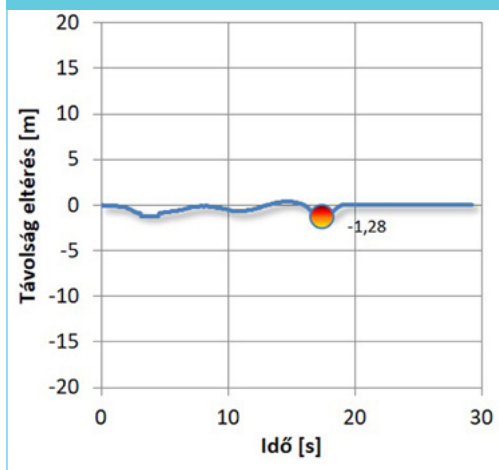


tényező előállításához az eddiginél pontosabb mért sebesség adatokra van szükség. A 24. mérésből meghatároztam a sebesség értéket század pontossággal, majd ehhez igazítottam a 25. korrigált mérést. Az eredmény a 11. ábrán látható. A távolságleltérés 1,96 m-ről 1,28 m-re csökkent, ami egyértelmű javulást jelent.

11/a. ábra: Az eredeti 24. mérés és a ráillesztett 25. korrigált mérés trajektóriái. (saját szerkesztés)



11/b. ábra: A távolság eltérés időbeni alakulása. (saját szerkesztés)



Az ábrák alapján az alábbi megállapítások tehetők:

- a legrosszabb esetben 11,29 m távolság különbség adódott menet közben 90,23%-os pontosság mellett, így ez a tévedés nem elfogadható mértékű,
- a legjobb esetben 1,96 m távolság különbség adódott 99,86%-os pontosság mellett, amely a korrekciós tényező változtatásával 1,28 m-re csökkent, ezáltal a pontosság definíciója szerint ez elfogadható hiba.

6. KONKLÚZIÓ

A mérés során megállapítottam, hogy a gyorsulásmérő dőlés szöge befolyásolja a mérés eredményét, amit korrekciós tényezővel kompenzálni lehet. A korrekciós tényező megállapításához a jármű sebességét használtam fel, amit km/h értékben tudtam mérni. Megfigyelhető, hogy minél nagyobb a hiba, annál nagyobb javulás érhető el a végeredményben, ami egyértelművé teszi, hogy a sebességet is mérni kell, ami által elvégezhető a korrigálás.

A vizsgálatból kiderül, hogy a jármű által megtett távolság meghatározható a

gyorsulás szenzorból és a jármű sebesség adataiból, ezáltal mérhető a járműkövetési távolság a forgalomban menet közben. A pontosság nem függ a mintavételi darabszámtól, sem a jármű sebességétől. A végeredmény pontossága függ a műszer vízszintes helyzetétől, vagyis feltételezhető, ha kompenzálva lenne a mérés közben, akkor a pálya hosszúságától függetlenül pontos mérési eredményt adna.

A következő vizsgálatot stabilizált gyorsulásmérővel fogom végezni, illetve egy időben két egymást követő járművel.

A tanulmány a "Nemzetköziesítés, oktatói, kutatói és hallgatói utánpótlás megteremtése, a tudás és technológiai transzfer fejlesztése, mint az intelligens szakosodás eszközei a Széchenyi István Egyetemen" című (azonosító szám: EFOP-3.6.1-16-2016-00017) projekt keretében készült.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Tettamanti T., Varga I., Csikós A.: *Közúti Mérések*, Typotex, Budapest, 2016.
- [2] Luspay T., Tettamanti T., Varga I.: *Forgalomirányítás*, Typotex, Budapest, 2011.
- [3] B.D. Greenshields: A study of traffic capacity. In *Proceedings of the Highway Research Board*, vol. 14, pp. 448-477, 1935.
- [4] M. Treiber, D. Helbing. Realistische Mikrosimulation von Straßenverkehr mit einem einfachen Modell, Dresden, 2002.
- [5] A. Kesting, M. Treiber, D. Helbing.: Enhanced intelligent driver model to access the impact of driving strategies on traffic capacity, *Phil. Trans. R. Soc. A* (368), 4585 – 4605, 2010. DOI: <http://doi.org/cn2b8r>
- [6] Mika P.: Adaptive car following model, *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 68., no. 3, 281-288, 2018, DOI: 10.2478/scjme-2018-0041, DOI: <http://doi.org/dbh6>
- [7] L. A. PIPES.: Wave theories of traffic flow, Department of Engineering University of California, Los Angeles, California
- [8] L. A. PIPES.: Car following models and the fundamental diagram of road traffic,

Transportation Research, Los Angeles, California, Vol. 1, pp. 21-29., 1967, DOI: <http://doi.org/b2s6vv>

- [9] H. GREENBERG.: An Analysis of Traffic Flow, *Operation Research*, Vol. 7, no. 1, pp. 79-85, 1959.

- [10] K. É. Gilicze, G. Debreczeni.: Közúti forgalmi áramlatok mikroszkopikus és makroszkopikus szemléletmódi jellemzése, *Közlekedéstudományi szemle*, 2010, Vol.: 60, pp. 16-20



Generation of Vehicle Trajectory from Acceleration Sensor Data

The test reveals that the distance travelled by the vehicle can be determined from the acceleration sensor and the vehicle speed data, thereby the vehicle's following distance in traffic is measurable while driving. Accuracy does not depend on the number of samples taken or the speed of the vehicle. The accuracy of the final result depends on the horizontal position of the instrument, i.e. it can be assumed that if it were compensated during the measurement process, it would be expected to give an accurate measurement regardless of the longitudinal slope of the track.



Erstellung der Fahrzeugtrajektorie aus den Daten des Beschleunigungssensors

Die Untersuchung zeigt, dass die vom Fahrzeug zurückgelegte Strecke aus dem Beschleunigungssensor und den Fahrzeuggeschwindigkeitsdaten ermittelt werden kann, wodurch der Sicherheitsabstand des Fahrzeugs im Verkehr während der Fahrt messbar ist. Die Genauigkeit hängt nicht von der Anzahl der entnommenen Proben oder der Geschwindigkeit des Fahrzeugs ab. Die Genauigkeit des Endergebnisses hängt von der horizontalen Position des Instruments ab, d. H. es kann angenommen werden, dass, wenn es während des Messprozesses kompensiert werden könnte, es würde ein genaues Messergebnis ergeben, unabhängig von der Längsneigung der Fahrbahn.

