

Kernel sűrűség becslés módszer közlekedés-biztonsági alkalmazása – gyalogos és kerékpáros baleset-sűrűsödési helyek keresése

Az Európai Unió közlekedéspolitikai célkitűzéseit szem előtt tartva törekedni kell arra, hogy 2020-ra a közúti sérültek számát felére csökkentsük, valamint 2050-re a közúti halálesetek száma a nullához közeledjen. Magyarországon a halálos kimenetelű közúti balesetek közel 40%-ában az elhunyt személy kerékpáros vagy gyalogos volt, ezért véleményünk szerint különösen nagy figyelmet kell fordítani e két közlekedési csoportra, a védtelen közlekedőkre. Cikkünkben bemutatunk egy kernel sűrűség becslési eljárást.

DOI 10.24228/KTSZ.2018.3.6

Baranyai Dávid – Török Ádám – Sipos Tibor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,

Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék

e-mail: david.baranyai@mail.bme.hu torok.adam@mail.bme.hu sipos.tibor@mail.bme.hu

1. BEVEZETÉS

Az Európai Unió közösségi közlekedéspolitikája („Fehér Könyv”) leszögezi, hogy célja a közúti halálos áldozatok számának nullára csökkentése 2050-re. E céllal összhangban az Európai Unió arra törekszik, hogy 2020-ra felére csökkenjen a közúti sérültek száma a 2010-es értékhez képest [1].

Európa útjai továbbra is a legbiztonságosabbak: 2016-ban az Európai Unióban 50 közúti haláleset jutott egymillió lakosra vetítve, míg globálisan ez az érték 174. Ez az év forduló-pontot jelentett az EU-ban történt halálos áldozatok számának csökkenésében, hiszen két év stagnálás után 2%-kal csökkent az életüket veszettek száma. 2016-ban 25 500 ember veszítette életét közúti balesetben, ez 600-zal

kevesebb, mint 2015-ben és 6000-rel kevesebb, mint 2010-ben. Ez 19%-os csökkenést jelent 6 év alatt [2].

1990 és 2000 között Magyarországon a közúti balesetek következtében meghaltak száma 50%-kal csökkent. [3] 2000 és 2007 között ez az érték apróbb ingadozásoktól eltekintve nem változott, viszont 2011-ig közel 50%-os csökkenés figyelhető meg 2007-hez képest. 2011 óta a közúti közlekedési balesetben meghaltak száma közel stagnál, számuk 590 és 640 között ingadozik [4].

Az EU-ban a 2016-ban közúti balesetben meghaltak 21%-a gyalogos, míg 8%-a kerékpáros közlekedő volt [2]. Ezzel szemben az elmúlt 6 évben Magyarországon a halálos közúti balesetekben a gyalogosok részaránya 21-26%

között mozgott, míg a kerékpárosoké 11-15%. Előbbi átlaga 23,85%, míg utóbbié 13,13% [5]. Még mindig rendkívüli kihívást jelent, hogy elérjük a 2010 és 2020 közötti időszakban a közúti balesetekben megsérültek számának felére csökkentésére irányuló stratégiai célkitűzést, ezért minden eszközt igénybe kell venni, mert minden egyes megmentett élet kiemelten fontos.

A védtelen közlekedők két csoportjának – a gyalogosok és a kerékpárosok – a halálos kimenetelű közúti balesetekben betöltött magas részaránya miatt (35-40%) kiemelten fontosnak tartjuk e két közlekedési csoporttal való külön foglalkozást [4].

2. KDE MÓDSZER

Korábbi kutatásaink során készítettünk egy távolságmátrixos góchelykereső algoritmust, amely a klaszteranalízis elvén alapult. Ezen módszerrel való góchelykutatás során a módszer több gyengeségét is feltártuk (szelvényszám hiánya, szelvényszám nem megfelelő rögzítése, pontosításhoz térképes szűrés szükséges, keresztező utak figyelmen kívül hagyása), ezért egy másik megoldást kellett keresni a baleset-sűrűsödési helyek kimutatására. Erre megoldásként a kernel density estimation-t (továbbiakban: KDE), azaz a kernel sűrűség becslést találtuk.

A közlekedési balesetek vonatkozásában a KDE-vel elsősorban Banos és Huguenin-Richard (2000) írásában találkozunk, akik a KDE használatával elemezték a gyermek gyalogos balesetek eloszlását [7]. Ezt követően a KDE-t a közlekedés több területén is alkalmazták, pl.: a vadakkal történő járműbaleseteknél Finnországban [8], valamint a közlekedési balesetek térbeli és időbeli elemzésénél [9], [10], [11], [12].

A KDE módszer a statisztikában egy nem-paraméteres módszer, egy valószínűségi változó valószínűségi sűrűségfüggvényének becsléséhez [13].

A kernel módszerrel történő baleset-sűrűsödési hely kereső eljárásban úgy tekintünk

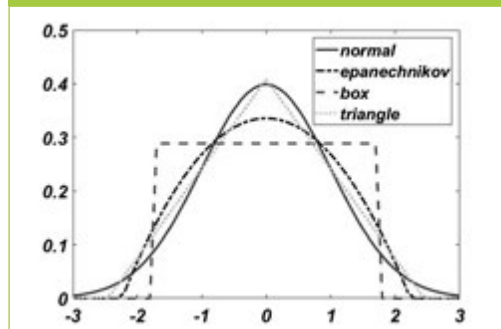
minden balesetre, mintha egy saját kis sűrűségfüggvényt (kernelfüggvényt) generálna. Az így indukált kernelfüggvények súlyozott összege adja az eredő sűrűségfüggvény becslését. Egy x_i baleset egy $K(x, x_i)$ kernelfüggvényt generál, amely a tér minden x pontjához egy valószínűséget rendel. Így a sűrűségbecslés: [13]

$$b(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N K(x - x_i) \quad (1)$$

A kernelfüggvény meghatározásánál az egyes balesetekre az alábbi függvénytípusokat illesztettük (1. ábra):

- Gauss (normál)
- Epanechnikov
- Box
- Triangle

1. ábra: Függvénytípusok

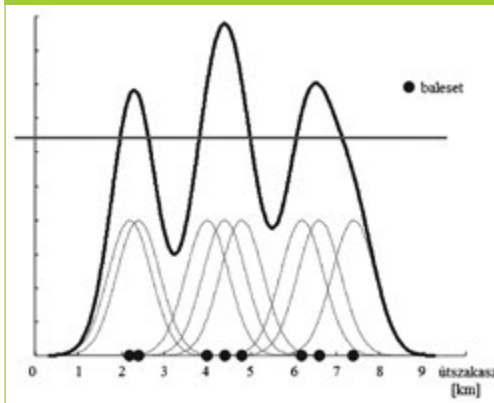


Lefuttattuk az algoritmusunkat mind a négy függvénytípussal, de szignifikáns eltérés nem mutatkozott az eredményben, ezért a továbbiakban csak egyfélélt alkalmaztunk. A választásunk a Gauss eloszlásra esett.

A baleset-sűrűsödési helyek kernel módszerrel történő feltárására készítettünk egy algoritmust a MATLAB programrendszerben, amelynek értelmezésére konstruáltunk egy egyszerűsített magyarázó grafikát, amely a 2. ábrán látható. Módszerünk lényege, hogy a vizsgált úton elhelyezkedő minden egyes balesetre (ábrán pontok formájában jelölve) Gauss eloszlást illesztünk (ábrán vékony vonalas görbék), majd ezeket összegezve megkaptuk a kernel függvényünket (ábrán

vastag vonallal rajzolt görbe). Ezt követően az így kapott sűrűségfüggvény csúcspontjaiból meghatároztuk, a baleset-sűrűsödési helyeinket (ábrán a vízszintes vonal felett).

2. ábra: Kernel módszer magyarázó ábra

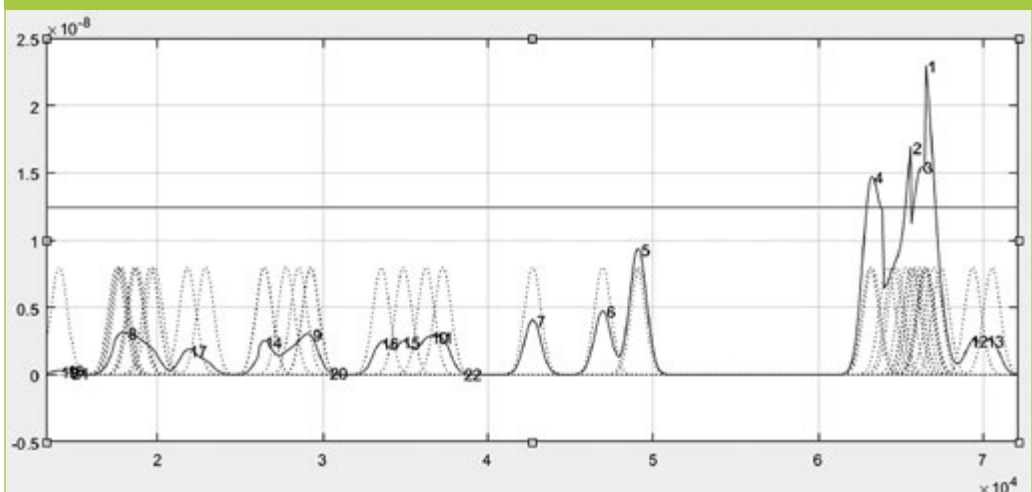


Mintaként lefutattuk az algoritmust a 11-es számú másodrendű főúton történt gyalogos és kerékpáros balesetekre. Ennek eredménye a 3. ábrán látható. Pontozott görbékkel az egyes balesetekre illesztett Gauss eloszlások, míg folytonos vonallal a belőlük képzett átlagos napi forgalommal (ÁNF) súlyozott kernel függvényt jelöltük (3. ábra).

Következő kérdésként adódott, hogy az így kialakult baleset-sűrűsödési helyekből melyeket tekintjük góchelyeknek. Erre azt a megoldást találtuk optimálisnak, hogy a baleset-sűrűsödési helyek csúcserőértékei közül (számozott csúcspontok) leszűrjük a kiugrókat, és ezen értékek adják a góchelyeinket. Ennek abszolválására az SPSS statisztikai szoftverben meghatároztuk a 25 és 75%-os percentiliseket, majd ezekből az interkvartilis terjedelmet. Ezt követően kiszámoltuk a felső határt, ami fölött kiugró értékekről beszélünk, azaz a 75%-os percentilist az interkvartilis terjedelem másfélszeresével meghaladó értéket.

A felső határ meghatározása után, ami a minta út esetében $1,25 \cdot 10^8$ -ra adódott (3. ábra vízszintes vonal), megkaptuk, hogy mely csúcserőértékeket nevezünk baleset-sűrűsödési helyeknek. Mivel nem csak a kernel függvényünk felső határ feletti csúcspontjai által meghatározott térbeli helyeket (x tengelyre levetített szelvény értéket) nevezük a baleset-sűrűsödési helyünknek, hanem az azokat megelőző és követő bizonyos hosszúságú szakaszokat, ezért újabb kérdésként adódott, hogy mekkorák ezek a szakaszok? Esetünkben a baleset-sűrűsödési szakaszokat a felső határ által meghatározott egyenes (vízszintes vonal) és a kernel sűrűségfüggvény (folytonos vonalú görbe) metszéspontjai alakították ki a baleset-sűrűsödési sza-

3. ábra: 11-es másodrendű főútra lefutott Kernel baleset-sűrűsödési hely kereső módszer eredménye



1. táblázat: A távolságmátrixos és a kernel density estimation módsszerrel kapott eredmények a 11-es számú másodrendű főúton

Távolságmátrixos módszerrel			Kernel sűrűség becslés módszerrel		
balesetsűrűsödési hely		érintett balesetek	balesetsűrűsödési hely		érintett balesetek
kezdete	vége		kezdete	vége	
66+485	66+576	66+485	62+948	63+748	63+149
		66+578			63+154
		66+530			63+254
		66+576	65+290	65+590	65+317
		65+795	67+081	65+870	
				65+900	
				66+150	
				66+151	
				66+400	
				66+485	
				66+506	
				66+530	
				66+576	
				66+578	
				67+006	

kaszokat. Tehát a 3. ábrán jól látszik, hogy 3 db baleset-sűrűsödési szakaszunk van, amelyből kettőnek egy, egynek pedig két csúcspontja van.

3. EREDMÉNYEK

Az előző fejezetből kiderül, hogy a KDE módszerünkkel 3 db kerékpáros és gyalogos baleset-sűrűsödési helyet találtunk, ezzel szemben a korábbi távolságmátrixossal csak 1 db-ot. Ezek elhelyezkedése az 1. táblázatban és a 4. ábrán látható (pontozott szakaszok).

Az 1. táblázatból és az 4. ábrából is kiderül, hogy a KDE baleset-sűrűsödési hely kereső módszerünk által feltárt három baleset-sűrűsödési hely magába foglalja a távolságmátrixos módszerünk által detektált egy baleset-sűrűsödési helyet. Tehát a minta alapján elmondható, hogy az új módszer megtalálja a régi által feltártakat, sőt még újakat is kimutat.

A távolságmátrixos módszer hiányosságait, azaz a szelvényszám hiánya, a szelvényszám nem megfelelő rögzítése, a térképes

pontosítás és a keresztező utak figyelmen kívül hagyása orvosolható ezzel a módszerrel.

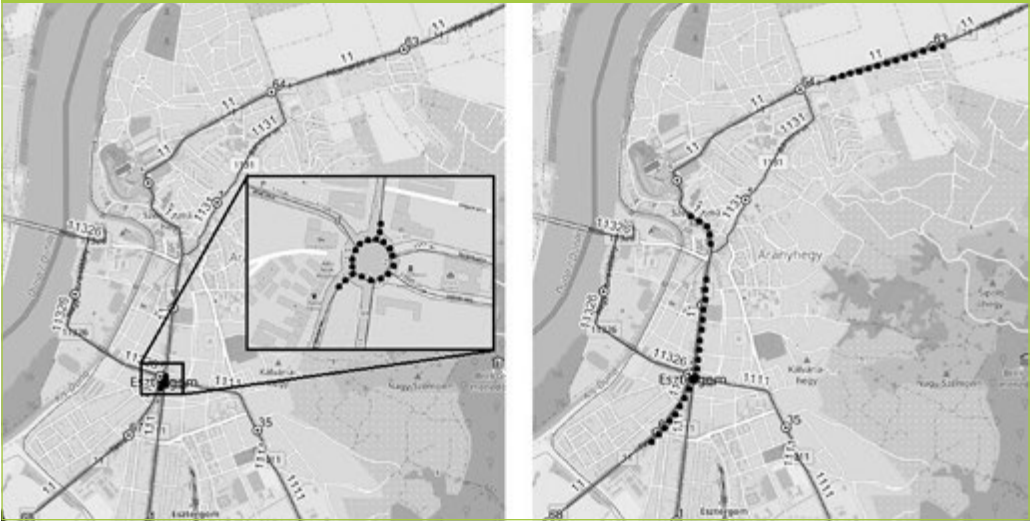
Ezen kívül nagy előnye, hogy figyelembe veszi az átlagos napi forgalmat, ami azért szükséges a baleset-sűrűsödési helyek keresése esetében, mert nagymértékben befolyásolja kialakulását, hogy például egy rövid szakaszon történt három baleset 10 vagy 10 000-res átlagos, napi járműforgalom mellett alakult ki.

A távolságmátrixos módszerrel ellentétben nem korlátozza a baleset-sűrűsödési hely hosszát az ott meghatározott lakott területen belül 100, lakott területen kívül pedig 1000 méterre. A kernel sűrűség becslés algoritmus a távolságmátrixos módszerrel feltárt góchelyeken kívül újabbakat is detektál.

4. KONKLÚZIÓ

Magyarországon kiemelt figyelmet kell fordítani a gyalogos és kerékpáros balesetekre, azoknak a halálos kimenetelű közúti balesetekben betöltött magas részaránya miatt.

4. ábra: A távolságmátrix módszerrel (bal oldali) és a KDE módszerrel (jobb oldali) eredményül kapott baleset-sűrűsödési helyek



A távolságmátrixos módszer akadályainak kiküszöbölésére készítettünk egy innovatív kernel sűrűség becslésen alapuló góchelykereső algoritmust. Ennek lényege, hogy Matlab program segítségével a vizsgált úton történt minden balesetre Gauss eloszlást illesztünk, majd ezeket összegezve megkapjuk a kernel sűrűségfüggvényünket. Ebből leszűrjük a csúcsok közül kiugrókat (felső határ feletti értékek), majd meghatározzuk a felső határ egyenese és a kernel sűrűségfüggvény metszéspontjait. Ezek alapján megkapjuk a vizsgált úton történt baleset-sűrűsödési szakaszokat.

A KDE-n alapuló algoritmusunkkal sikerült kiküszöbölnünk a távolságmátrixos módszerünk hibáit, amellet, hogy az azzal azonosított góchelyek mellett továbbiakat is talált. Ezen kívül figyelembe veszi az átlagos napi forgalmat, és nem korlátozza a gócszakasz hosszát lakott területen belül 100, lakott területen kívül pedig 1000 méterre.

További lépésként az innovatív KDE algoritmusunkkal szeretnénk meghatározni Magyarország gyalogos és kerékpáros baleset-sűrűsödési térképet, majd meghatározni az ott történt balesetek és az infrastruktúra kialakítás közötti kapcsolatot, tipikus mintázatot.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] [1] „Európai Bizottság (2011): **FEHÉR KÖNYV - Útiter az egységes európai közlekedési térség megvalósításához** – Úton egy versenyképes és erőforrás-hatékony közlekedési rendszer felé, Brüsszel, 2011.3.28. COM(2011) 144”.
- [2] „European Commission - Fact Sheet (2017): **2016 road safety statistics: What is behind the figures?**, 28. March 2017., http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-17-675_en.htm (megtekintés: 2017.11.09)”.
- [3] „Prof. Dr. habil Holló Péter: (2002): **Road accidents in Hungary**, IATSS Res., vol. 26, no. 1, pp. 82–85”.
- [4] „Baranyai Dávid, Török Ádám (2016): **Védetlen közlekedők közúti biztonsági helyzetének alakulása Magyarországon**, Közlekedéstudományi Szemle 65:(5) pp. 59-65., ISSN 0023 4362”.
- [5] „Dávid Baranyai, Loreta Levulytė, Ádám Török (2016): **Vulnerable Road Users in Hungary**, Proceedings of 20th International Scientific Conference Transport Means 2016., Juodkrantė, Litvánia, 2016.10.05-2016.10.07.pp. 1126-1130”.
- [6] „Baranyai Dávid, Mándoki Péter, Kővári Botond, Török Ádám (2016): **Magyarország**

- gi gyalogos és kerékpáros balesetek elemzéseinek módszerfejlődése, Innováció és fenntartható felszíni közlekedés konferencia, Budapest, 2016.08.29-31., paper 44, pp. 256-259. ISBN 978-963-88875-3-5”.
- [7] „A. Banos, F. Huguenin-Richard (2000): **Spatial distribution of road accidents in the vicinity of point sources application to child pedestrian accidents**, Geography and Medicine, 8 (2000), pp. 54-64”.
- [8] „Jukka Matthias Krisp, Sara Durot (2006): **Segmentation of lines based on point densities—An optimisation of wildlife warning sign placement in southern Finland**, Accident Analysis & Prevention, Volume 39, Issue 1, January 2007, Pages 38-46., DOI: <http://doi.org/bs3dmk>”.
- [9] „Tessa K.Anderson (2009): **Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots**, Accident Analysis & Prevention, Volume 41, Issue 3, May 2009, Pages 359-364., DOI: <http://doi.org/c6zvh7>”.
- [10] „Srinivas S. Pulugurtha, Vanjeeswaran K. Krishnakumar, Shashi S. Nambisan (2007): **New methods to identify and rank high pedestrian crash zones: An illustration**, Accident Analysis & Prevention Volume 39, Issue 4, July 2007, Pages 800-811., DOI: <http://doi.org/c28w2v>”.
- [11] „Carola A.Blazquez, Marcela S.Celis (2013): **A spatial and temporal analysis of child pedestrian crashes in Santiago, Chile**, Accident Analysis & Prevention Volume 50, January 2013, Pages 304-311., DOI: <http://doi.org/cns8>”.
- [12] „Seiji Hashimoto, Syuji Yoshiki, Ryoko Saeki, Yasuhiro Mimura, Ryosuke Ando, Shutaro Nanba (2016): **Development and application of traffic accident density estimation models using kernel density estimation**, Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition) Volume 3, Issue 3, June 2016, Pages 262-270, DOI: <http://doi.org/cns9>”.
- [13] „Christiaan M. van der Walt, Etienne Barnard (2017): **Variable kernel density estimation in high-dimensional feature spaces**, Proceedings of the Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-17), San Francisco, California USA , 4 – 9 February 2017”.



The traffic safety application of the kernel density estimation method

According to the European Union's transport policy targets, it is necessary to decrease the number of road casualties by 50% by 2020, and by 2050 the number of fatalities need to be reduced to near zero. In Hungary, in 40% of fatal road accidents the deceased person was a cyclist or pedestrian. Therefore, special attention should be paid to these two groups, to the unprotected road users. In this article a kernel density estimation procedure is shown, especially focused on road transport safety issues.



Die Anwendung Methode der Kerndichteschätzung Auf Dem Gebiet Der Verkehrssicherheit

Gemäß den verkehrspolitischen Zielen der Europäischen Union muss die Zahl der Verkehrstoten bis 2020 um 50% gesenkt werden, und bis 2050 muss die Zahl der Todesopfer auf nahezu Null reduziert werden. In Ungarn waren die Opfer in 40 Prozent der Unfälle mit tödlichem Ausgang Radfahrer oder Fußgänger. Daher sollte diesen beiden Gruppen – den ungeschützten Verkehrsteilnehmern – besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. In diesem Artikel wird ein Verfahren zur Schätzung der Kerndichte vorgestellt, das sich insbesondere auf Sicherheitsprobleme im Straßenverkehr konzentriert.