

Autonóm járművek biztonságának növelése historikus baleseti adatok segítségével

Szénási Sándor*, Felde Imre**, Kertész Gábor***, Nádai László****

*Óbudai Egyetem, Neumann János Informatikai Kar (e-mail: szenasi.sandor@nik.uni-obuda.hu)

** Óbudai Egyetem, Neumann János Informatikai Kar (e-mail: felde.imre@nik.uni-obuda.hu)

*** Óbudai Egyetem, Neumann János Informatikai Kar (e-mail: kertes.gabor@nik.uni-obuda.hu)

**** Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar (e-mail: nadai@uni-obuda.hu)

Egyik alapvető várakozás az autonóm járművek fejlesztői felé, hogy ezek az eszközök jelentősen csökkentsék majd a közlekedési balesetek számát vagy legalább azok súlyosságát. Ez joggal várható el, hiszen ezen eszközök mindig betartják a törvényeket, nem lankad a figyelmük és jóval gyorsabb a reakcióidejük, mint az embereknek. Vannak azonban olyan jellegű balesetek, amelyeket nem lehet elkerülni még a leggyorsabb reakcióidővel sem (pl. gyalogos hirtelen lelép az autó elé), ezek ellen az önvezető autó is védtelen. Kiegészítő lehetőségként azonban érdemes lehet a múltbéli balesetekben olyan jellegű mintázatok keresése, amelyek előre jelezhetik az ilyen jellegű baleseteket (pl. megadott útszakaszon gyakori a gyalogos gázolás), és ezzel jelentősen segíthetik a járművet az ezekre való felkészülésben. Ez a cikk egy adatbányászati alapú eljárást mutat be a potenciális góchelyek megkeresésére, illetve statisztikai vizsgálatokat a speciális mintázatok felismerésére.

1. BEVEZETÉS

Napjaink egyik legintenzívebben kutatott és legnagyobb figyelmet kapó területe a különféle önvezető járművekkel kapcsolatos tudományos és mérnöki munkák. A kutatások egyik nagy ígérete az, hogy ezek az automatizált eszközök jelentősen csökkentsék majd a közlekedési balesetek számát, vagy legalább azok súlyosságát. Az IORAP tanulmánya szerint a közúti balesetek 90%-át emberi hiba okozza, így logikusnak tűnik a feltételezés, hogy a humán faktor kiiktatásával ezek száma valóban le fog csökkenni. Hiszen az erre a célra kidolgozott eszközök számos emberi hibát el tudnak kerülni: nem fáradnak el, nem figyelnek másfelé, nem fogyasztanak alkoholt és mindig betartják a közlekedési szabályokat.

Érdemes azonban megjegyezni, hogy a fentiekkel még mindig nem garantálható, hogy minden baleset meg fog szűnni. Az egyes balesetek okait visszavezethetjük környezeti okokra (időjárás, úttest állapota, stb.), de akár a közlekedés többi résztvevőjének hibájára is (más járművek vezetői, gyalogosok, vadállatok, stb.).

Az önvezető járművek irányítása alapvetően azon alapul, hogy a különböző szenzorokból beérkező jeleket szofisztikált algoritmusok valós időben értékelik, majd pedig ezek alapján meghozzák a döntést a szükséges szerkezetek működtetésére. A szakirodalmat átvizsgálva látható, hogy a legtöbb kutatás ezen a koncepción belül mozog, a balesetek elkerülésére általában még több, még pontosabb szenzorokat és még hatékonyabb algoritmusokat próbálnak adni.

Érdemes azonban észrevenni, hogy sok baleset típus létezik, amelyeket pusztán a valós idejű szenzor adatokra

támaszkodva nem lehet elkerülni. Ilyen lehet a hirtelen jármű elé ugró kisgyerek esete, vagy akár egy olyan csúszós útfelület, ahol bár a szenzorok tudják jelezni a problémát, de elképzelhető, hogy mire ez kiderül, addigra már nincs lehetőség a szükséges korrekciókra. Hasonló probléma, ha bizonyos időszakokban a nap fénye elvakítja a vezetőket. Habár magát az autonóm járművet ez lehet, hogy nem zavarja, de mégis kerülhet veszélyes szituációba, ha egy szembe jövő még ember sofőr ennek az alanya.

Ezek a területek az emberi vezetők néha akár hatékonyabbak is lehetnek, hiszen rendelkezhetnek olyan előzetes tudással, amelyek segíthetik a balesetek elkerülését. Például tudják, hogy egy iskola van a közelben, és többször is előfordult már gyalogos gázolás. Vagy a másik példát vizsgálva, helyi ismereteik alapján tudják, hogy ez bizonyos útszakaszon gyakran történnek kicsúszásos balesetek esős időben, ezért előre felkészülnek erre a lehetőségre.

Kutatásunk célja az, hogy adatbányászati eszközökkel meghatározzuk a közúthálózat azon területeit, ahol a fentiekhez hasonló rendellenességek történtek. Egy következő lépés pedig az ezekhez rendelhető megelőző intézkedések kidolgozása, ezekkel azonban ebben a cikkben nem foglalkozunk. Alapvetően elmondható, hogy a legtöbb veszélyes helyen a sebesség csökkentése növeli a baleset elkerülésének esélyét [1], [2], vagy legalább csökkenti annak súlyosságát. Bizonyos esetekben azonban más megoldás is szóba jöhet (gyalogosok esetén a mesterséges motorhang növelése, csúszós útszakasznál a szokásostól eltérő haladási ív választása, szembejövő autók esetén a fényszórók fényerejének módosítása, stb.).

2. HASONLÓ FEJLESZTÉSEK

2.1 Autonóm járművek szerepe a balesetek elkerülésében

Az autonóm járművek szerepe és hatása a közúti balesetek csökkentésében egy kimondottan aktívan kutatott téma. Érdekes amúgy megjegyezni, hogy a publikációk jelentős része már egy utópisztikus jövővel foglalkozik, ahol az egyes járművek egy hálózat részeként valós időben kommunikálnak egymással és így képesek hatékonyan együttműködni a balesetek elkerülése érdekében.

A gyakorlat még távol áll ettől, jelenleg a már egyébként is megszokott baleset elkerülő/megelőző rendszerek működnek ezekben a járművekben is. Ezek két fő csoportja az aktív illetve passzív rendszerek, attól függően, hogy milyen mértékben avatkozhatnak bele a tényleges vezetési folyamatban veszélyhelyzet érzékelése esetén.

Ezek szerepe azonban már így is jelentős, számos tudományos cikk mutatta már be, hogy már maguk a passzív rendszerek is több millió balesetet tudtak megelőzni az USA-ban évente.

A legismertebb aktív rendszerek a fékezést segítő rendszerek, amelyekről szintén kimutatható, hogy jelentősen csökkentik a gyalogosokat ért balesetek súlyosságát. Illetve számos baleset előrejelző rendszer működik már különféle szenzorok alapján (kamera, radar, LIDAR, stb.).

Rendelkezésre állnak valós idejű baleset-előrejelző rendszerek is, ezekről írt összefoglaló cikket Hossain és tsa. [3]. Ezen rendszerek működésének alapvetése az, hogy minden baleseti szituáció előre jelezhető egy azt megelőző rövid időablakban rendelkezésre álló szenzoradatok alapján. Ennek megfelelően, ők nem foglalkoztak a historikus baleseti adatokkal.

2.2 Baleseti gócpontok keresése

A baleseti gócpontok azonosítása már régóta a közlekedésbiztonsággal foglalkozó szakemberek egyik legfontosabb feladata. Nincs egyértelmű definíció arra nézve, hogy mit értünk baleseti gócpont alatt (a hivatalos definíció pedig országonként változó) [4]–[6], de alapvetően a közúthálózat azon területeit, ahol a balesetek száma szignifikánsan nagyobb, mint ahogy az várható lenne a környezeti paraméterek alapján (forgalom, úttest állapota, stb.).

A góchelyek vizsgálatának támogatására már számos eljárás létezik, ezek többnyire a már meglévő baleseti adatbázisból indulnak ki. Ebből próbálnak különböző statisztikai vagy adatbányászati eszközökkel kiválasztani olyan útszakaszokat vagy területeket, amelyekre igazak a góchely feltételek. Érdekes azonban megjegyezni, hogy az így talált területek még csak gócjelöltnek tekinthetők, a balesetek halmozódása alapján meghatározott szakaszokat még célszerű tovább vizsgálni, hogy megállapítsák a probléma okát. Amennyiben csak véletlen egybeesés miatt jelent meg a halmozódás, akkor azt nem célszerű gócpontként kezelni.

Maga a gócjelöltek keresése számos eljárással elvégezhető. Ezek közül a legegyszerűbb és legrégebben használt az egyszerű csúszo ablakos technika. Ennek során egy előre megadott méretű ablakot húzunk végig a vizsgált útszakaszon, és ha egy megadott intervallumban a balesetek száma meghalad egy előre megadott mértéket, akkor azt gócjelöltnek tekinthetjük.

Bár a technika nagyon egyszerűen implementálható és az eredményei is könnyen értelmezhetők, számos probléma merül fel vele kapcsolatban. Emiatt megjelentek különböző alternatívák, amelyek közül érdemes kiemelni a KDE (Kernel Density Estimation) [5], [7] alapú módszereket.

A gócpontok analízisének szintén fontos eszköze az empirikus Bayes módszer. Ennek alapja, hogy önmagában a balesetek száma még nem tudja meghatározni, hogy egy terület valóban gócpont-e, hanem szükséges a hasonló paraméterekkel bíró területek adatainak figyelembevétele is. Itt persze további kérdéseket vet fel a „hasonló” definiálása.

A fenti módszerek többnyire csak a gócjelöltek felkutatására alkalmasak, a továbblépésre már jelentősen kevesebb kutatás összpontosít. Valószínűleg azért, mivel ezt már a szakértők manuálisan végzik el, szükség esetén akár a helyszínt is megvizsgálva további adatok bevonásával. Ez alapvetően érthető, hiszen az egyes góchelyek azonosításán további, kimondottan erőforrásigényes lépések alapulnak. Ezek alapján lehet csak hatékonyan eldönteni a meglehetősen költséges közúti biztonsági fejlesztések szakszerű megtervezését.

2.3 Célkitűzés

Az irodalomkutatás alapján látható, hogy számos fejlesztés foglalkozik az (autonóm) járművek biztonságával, mind az eszközök mind pedig az algoritmusok oldaláról. Ugyanígy a baleseti gócpontok kutatása már egy nagyon régóta létező terület, számos módszer jelent meg ezzel kapcsolatban, amelyek már a közlekedési szakértők napi munkájában is használatosak.

Az általunk kitűzött célokhoz azonban a két terület összekapcsolása szükséges, tehát

1. Potenciális góchelyek megkeresése
2. Balesetek okainak automatizált megállapítása
3. Ezeket elkerülő intézkedések megtervezése

Ennek megvalósításához a potenciális góchelyek manuális vizsgálata már nem megfelelő, hiszen országos szinten szeretnénk minél részletesebb adatokat a veszélyes helyekről. Az automatikus értékeléssel vállaljuk annak a kockázatát, hogy esetleg olyan potenciális góchelyeket is kockázatosnak fogunk tekinteni, amelyre egy emberi szakértő ennek az ellenkezőjét mondaná. Ez különösebb problémát azonban nem okoz, hiszen itt nem lesz ennek kiemelkedően költséges mellékhatása, esetleg kisebb kényelmetlenség (pl. megadott helyen a jármű csökkenteni fogja a sebességét).

3. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

3.1 Potenciális góchelyek keresése

A gócjelöltek feltárásához a DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) adatbányászati eljárást használtuk. Ez egy meglehetősen régóta használt módszer, habár a baleseti gócpontok keresése területén kevésbé elterjedt. Számos előnnyel rendelkezik azonban az elterjedt alternatívákhoz képest:

- A csúszó ablakos technika hátránya, hogy csak egy út adatait tudja vizsgálni útszám+szelvény formában megadott azonosítás alapján. A gyakorlatban azonban már elérhető a pontosabb GPS alapú kétdimenziós helyazonosítási adatok is.
- A KDE módszer ugyan síkban működik, de működési elvéből adódóan ez tipikusan körszerű gócpontok keresésére alkalmas. A DBSCAN esetében lehetőség nyílik szabálytalan formájú góchelyek megkeresésére is.

A módszer bemenete egy ε -nal jelölt távolság illetve $MinPts$ -el jelölt darabszám érték. A módszer alapvető lépései az alábbiak:

1. Kiválasztjuk valamely balesetet, amelynek ε sugarú környezetében legalább $MinPts$ darab baleset történt (ezeket nevezzük a későbbiekben belső pontoknak).
2. Ha találtunk ilyen, akkor létrehozunk egy új klasztert aminek kezdőelemei a kiinduló baleset és annak ε -nál közelebbi szomszédjai lesznek.
3. A vizsgálatot folytatjuk a szomszédokra. Ha azok is belső pontok, akkor az ε sugarú környezetükben lévő balesetekkel is bővítjük a klasztert.
4. A fenti bővítést addig folytatjuk, amíg találunk további bővítési lehetőséget.
5. A folyamat eredményeként a klaszter tartalmazza a góchely jelölt baleseteit.

A módszer előnye tehát az, hogy nem csak egy úton tudja keresni a baleseteket, hanem a síkban tetszőleges irányban. Ez kimondottan fontos lehet keresztezésekben, mivel az egy kereszteződésben történt balesetek különböző útszámokra lehetnek kódolva. A módszer másik előnye pedig lakott területen belül látható, ahol az utcanév+házzszám azonosítás használata miatt a csúszóablakos módszer eleve nem használható.

3.2 Lehetséges baleseti okok vizsgálata

Az így megtalált helyek azonban még nem biztos, hogy valóban baleseti gócpontnak minősíthetők. A balesetek halmozódása egyszerűen azok véletlen eloszlásából is adódhat. Ezért célszerű lehet megvizsgálni, hogy felfedezhető-e olyan közös ok, amely felelős lehet a balesetek bekövetkeztéért. Ennek megállapítása nem pusztán azért fontos, hogy ezzel el tudjuk dönteni, hogy valódi góchelyről van-e szó vagy pedig sem, hanem magának az oknak az ismerete fogja adni a támpontot a továbblépéshez, amikor megfelelő elkerülő intézkedéseket tudunk javasolni az önzetű jármű számára.

Ehhez első körben kidolgoztunk egy pontozási rendszert, amely megpróbálja megállapítani, hogy az egyes balesetek mögött milyen okok állhatnak. A baleseti adatbázis ugyanis többnyire csak a baleset tényszerű paramétereit rögzíti (időpont, hely, időjárás, stb.), ezek mellett pedig általában egy ok meghatározására van lehetősége a helyszínelőnek.

A gyakorlatban azonban számos ok közrejátszhat (pl. sebesség túllépés, úttest állapota, látási viszonyok, stb.) különböző arányokban. Mivel ez ilyen részletességgel nem szerepel a baleseti adatbázisban, ezért egy pontozási rendszer segítségével próbálunk erre következtetni az ismert adatok alapján.

Példaként tekintve az úttest csúszósságát, az alábbi pontozási rendszerből indulunk ki (1-3. Táblázatok). A súlyértékek részben szubjektív tapasztalatokon alapulnak, részben pedig az irodalmi áttekintés [8], [9] eredményei.

1. Táblázat: baleset természete pontozás

Adatbázis mező értéke	Pont
megcsúszás, farolás, felborulás az útpályán	0,9
pályaelhagyás, szilárd tárgynak ütközés nélkül	0,4
pályaelhagyás, szilárd tárgynak ütközés	0,4
egyéb esetben	0,0

2. Táblázat: időjárási viszonyok pontozás

Adatbázis mező értéke	Pont
derült	0,0
borult	0,0
ködös	0,1
esős	0,2
viharos, zivataros	0,5

3. Táblázat: Úttest felületének állapota

Adatbázis mező értéke	Pont
normál, száraz	0,0
nedves	0,3
havas, jeges	0,6
olajos	1,0
egyéb szennyezés	0,7
nem úttest	0,0

A fenti pontozás alapján minden egyes balesetre meghatározható egy pont érték, ezt fogjuk alapul venni, hogy megadott probléma milyen mértékben volt hatással az adott balesetre (magának a pontszám abszolút értékének nincs különösebb jelentése, pusztán összehasonlításra fogjuk használni).

3.3 Góchelyek okainak vizsgálata

Az előzetesen kiszámolt pontérték segítségével próbáljuk meghatározni azokat a góchelyeket, amelyek az átlagosnál nagyobb mértékben érintettek bizonyos okok szerint.

Ehhez a teljes országos adatbázisra kiszámoltuk az egyes balesetekre a különféle okokhoz tartozó pontszámokat. A

gócelyek esetében pedig ezt ismét elvégeztük az egyes klaszterben lévő balesetekre. Amennyiben a balesetek eloszlása valamely pontozás szerint szignifikánsan más a góchely baleseteinél mint a teljes országos adatbázis esetén, akkor feltételezzük, hogy itt ez a megadott ok részt vesz a balesetek halmozódásában.

Ehhez automatizált statisztikai hipotézisvizsgálatokat végzünk minden góchely esetén. Jelen cikkben a Welch próbát használjuk erre a célra. Ez a paraméteres próbák közé tartozik. Azt vizsgálja, hogy két külön mintában egy-egy valószínűségi változó átlagai egymástól szignifikánsan különböznek-e. A Student T-próbához képest az előnye, hogy megbízhatóbb ha a minták mérete különbözik, ez pedig itt határozottan megjelenik, hiszen az egyik minta a teljes országos baleseti halmaz, a másik pedig egy konkrét gócpont elemei. A Welch próba feltételezi, hogy a minták normál eloszlásúak, ami itt nem áll fent, viszont a szakirodalmi ajánlások [10] szerint egyoldalú vizsgálat esetében, ha a minták száma elég nagy, akkor ilyen esetben is megbízható eredményt ad.

Amennyiben μ_b mutatja a gócpontban a megadott szempont szerinti pontszámok átlagát, μ_p pedig a teljes populáció átlagát, akkor a null hipotézisünk az alábbi:

$$H_0 = \mu_b - \mu_p \leq 0$$

$$H_1 = \mu_b - \mu_p > 0$$

A Welch teszt alapján a statisztikai t érték az alábbiak szerint határozható meg:

$$t = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{\frac{v_1}{n_1} + \frac{v_2}{n_2}}}$$

Ahol x_1 , v_1 és n_1 az első minta átlaga, szórása és darabszáma, x_2 , v_2 és n_2 pedig a második minta átlaga, szórása és darabszáma.

Az f szabadság fok pedig az alábbiak alapján számítható:

$$f = \frac{\left(\frac{v_1}{n_1} + \frac{v_2}{n_2}\right)^2}{\frac{v_1^2}{n_1^2(n_1 - 1)} + \frac{v_2^2}{n_2^2(n_2 - 1)}}$$

Az ezek alapján számított valószínűség (P) és az előre meghatározott α alapján már eldönthető, hogy elfogadjuk-e a null hipotézist vagy sem. Amennyiben nem fogadjuk el, akkor feltételezhető, hogy a vizsgált ok kapcsolatban áll a gócpontban található balesetekkel. Amennyiben nem vetjük el, akkor pedig úgy tekintjük, hogy ez nem támasztható alá kellőképpen.

4. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

Az eredmények kiértékeléséhez a teszt futtatásokat a KSH által gyűjtött baleseti adatbázisban végeztük el. A vizsgálat paramétereit az alábbiak voltak:

- hely: „Győr-Moson-Sopron megye”
- vizsgált időszak: 2011.01.01 – 2014.12.31.
- validációs időszak: 2015.01.01 – 2018.12.31.

- ϵ értéke: 100m
- minPts: 5 baleset
- minimális baleseti sűrűség: 0,0001 baleset/m²
- α értéke: 0,05

A fenti paramétereknek megfelelően első lépésként leválogattuk az adatbázisból a helynek és időnek megfelelő baleseteket, ez összesen 3256 balesetet jelent a vizsgált időszakban.

A klaszterezési algoritmus összesen 165 darab gócgyanús helyet talált a következő lépésben.

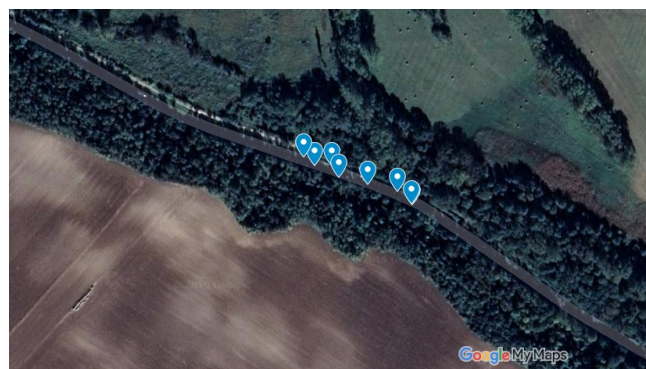
Ezt követte a statisztikai vizsgálat, ahol a fenti pontozás alapján kiszámoltuk a teljes populációra vonatkozó átlagos értékeket, ez alapján az összesen 3256 balesetnél az átlag 0,2438 volt, a szórás pedig 0,1115.

Végül elvégeztük az egyes gócjelöltekre a pontszámítást, majd pedig a hipotézisvizsgálatot. A Welch próba elvégzését követően 4 darab góchely esetén bizonyult az átlagtól való (pozitív irányú) eltérés szignifikánsnak. Ezek közül az elsőben található balesetek érintett jellemzőit mutatja a 4. Táblázat.

4. Táblázat: Megtalált góchely balesetei

Kimenetel	Felszín	Időjárás	Baleset term.
könnyű	nedves	napos	pályaelhagyás
súlyos	száraz	napos	pályaelhagyás
könnyű	nedves	esős	pályaelhagyás
súlyos	nedves	esős	pályaelhagyás
súlyos	nedves	esős	pályaelhagyás
könnyű	nedves	borult	frontális ütk.
könnyű	nedves	napos	kicsúszás
súlyos	nedves	borult	pályaelhagyás

A táblázat adataiból látható, hogy ezen a góchelyen valóban kirívóan gyakoriak a pályaelhagyásos balesetek. Ez különösen akkor érdekes, ha megnézzük magát a helyszínt a bejelölt balesetekkel (1.Ábra). Ami láthatóan egy egyenes útszakasz, tehát az önvezető autó számára itt semmi se jelzi, hogy veszélyes helyen halad.



1. Ábra: Góchely balesetei a térképen

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az általunk javasolt módszer képes a gócgyanús helyszínek azonosítására, majd pedig ezt követően az esetleges baleseti okok analizésére. Miként az eredményekből is látható ez

lehetővé teszi olyan információk kinyerését, amelyek támogatják az önzetű járműveket a biztonságos közlekedésben.

Az így elvégzett statisztikai módszer természetesen nem alternatívája a szakértők által végzett baleseti helyszín elemzésnek, de nem is erre van szükség. A cél ugyanis itt nem a néhány legnagyobb problémákat okozó helyszín felderítése, amely alapján nagy költségű beavatkozásokat lehet megtenni. Éppen ellenkezőleg, minél több potenciálisan veszélyes helyet szeretnénk felderíteni, amely információkat feltöltve az autonóm jármű memóriájába, az tud reagálni ezekre. Egy esetleges hamis pozitív jelzés sem okoz különösebb problémát és számottevő költségeket.

Továbbfejlesztési lehetőségként célszerű felülvizsgálni a megválasztott súlyparamétereket és megkeresni ezek optimális értékeit.

Másik érdekes irány lehet a rendszer részben valós idejű megvalósítása, ahol ezeket a paramétereket az aktuális helyzethez lehet igazítani. Például ha már halad a jármű egy útvonalon, és éppen este van/esik az eső, akkor nagyobb súlyt fektethet azon bekövetkező balesetekre, amelyek ehhez hasonló körülmények között következtek be.

Az ezekhez hasonló számítások megbízhatóságát azonban mindig jelentősen rontja az a tény, hogy a már bekövetkezett balesetek száma (szerencsére) meglehetősen alacsony, azok alapján általában nem lehet minden kétséget kizáró tényekre következtetni.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] A. Bálint, H. Fagerlind, and A. Kullgren, "A test-based method for the assessment of pre-crash warning and braking systems," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 59, pp. 192–199, 2013.
- [2] O. M. J. Carsten and F. N. Tate, "Intelligent speed adaptation: Accident savings and cost-benefit analysis," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 37, no. 3, pp. 407–416, 2005.
- [3] M. Hossain, M. Abdel-Aty, M. A. Quddus, Y. Muromachi, and S. N. Sadeek, "Real-time crash prediction models: State-of-the-art, design pathways and ubiquitous requirements," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 124, no. January, pp. 66–84, 2019.
- [4] W. Cheng and S. P. Washington, "Experimental evaluation of hotspot identification methods," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 37, no. 5, pp. 870–881, 2005.
- [5] H. Yu, P. Liu, J. Chen, and H. Wang, "Comparative analysis of the spatial analysis methods for hotspot identification," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 66, no. 0, pp. 80–88, 2014.
- [6] L. De Andrade *et al.*, "Brazilian road traffic fatalities: A spatial and environmental analysis," *PLoS One*

2014.

- [7] A. Toran and S. Moridpour, "Identifying Crash Black Spots in Melbourne Road Network Using Kernel Density Estimation in GIS," in *Road Safety and Simulation*, 2015.
- [8] M. Andersson *et al.*, "Road Friction Estimation IVSS Project Report," 2007.
- [9] C.-G. Wallman and H. Åström, "Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety. A literature review," 2001.
- [10] N. A. Ahad and S. S. S. Yahaya, "Sensitivity analysis of Welch's t-test," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1605, no. February 2015, pp. 888–893, 2014.