

Gyalogosok viselkedésének feltárása az önvezető járművek döntéstámogatása érdekében

Fejes Izabella¹ – Dr. Földes Dávid²

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar,
Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék
telefon: 70/4707858
e-mail: izabella11.07.if@gmail.com

²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar,
Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék
telefon: 20/570 4667
e-mail: foldes.david@mail.bme.hu

Kivonat: Az autonóm járművek széleskörű elterjedéséhez a többi közlekedő szándékának és viselkedési mintázatának feltárása szükséges, amelyek felhasználásával a jármű megfelelő reakciót tud adni konfliktus helyzetekben. Kutatásunk során a jármű-gyalogos találkozásra helyeztük a hangsúlyt. Célunk az elütéses balesetek megelőzését elősegítő módszer kidolgozása volt. Csomóponti helyszíni mérések és kérdőíves felmérés segítségével azonosítottunk a jellegzetes gyalogos mozgásokat. A helyszíni mérés alapján kategorizáltuk a gyalogátkelőhely-megközelítési mintázatokat, míg a kérdőíves kikérdezés alapján általános úttesteresztéssel kapcsolatos szokásokat és érzéseket tártunk fel. Megállapítottuk, hogy átkelés előtt az átkelőhely jellemző megközelítési szöge 90 fok, továbbá, hogy a gyalogátkelőhely megközelítést erősen befolyásolja a környezet (pl. közforgalmú közlekedési megálló közelsége), míg az átkelési viselkedést a gyalogátkelőhely kiépítettsége és a gyalogosok neme. Az eredmények a gyalogos lelépések előre becsléséhez nyújtanak segítséget, amelyeket az autonóm járművek szoftveres fejlesztésénél lehet felhasználni.

Kulcsszavak: autonóm jármű, közlekedésbiztonság, gyalogosvédelem, gyalogátkelőhely megközelítés, átkelési viselkedés

Bevezetés

Az önvezető közúti járművek sikeres adaptációjához a legvédtelenebb közlekedők, a gyalogosok védelme elengedhetetlen. A megfelelő biztonság megteremtéséhez a gyalogosok szándékának előrejelzése szükséges, amelyeket az autonóm járművek szoftverfejlesztésénél lehet használni. A megjelent tanulmányok [1], [2] a gyalogosok viselkedését többnyire algoritmusok segítségével becsülik meg (a gyalogost mozgó objektumokként tekintik, mozgásának jellemzői - irány, sebesség - alapján vetítik előre a várható jövőbeli helyzetét). A tanulmányok csak érintőlegesen foglalkoznak a kontextuális információk figyelembevételével (pl.: fej helyzete, tekintet [3]), valamint a gyalogosok érzéseinek felmérésével. Ebből kifolyólag kutatásunk során a gyalogátkelőhely megközelítési mintázatok és az átkelés közbeni érzelmek azonosítását és összefüggések feltárását tűztük ki célul. Kutatásunk alapkérdései: hogyan becsülhető előre a gyalogos lelépési szándéka; van-e kapcsolat az átkelőhelytípusa és a gyalogos viselkedése között; milyen érzések jellemzők az úttesteresztése során, valamint, hogy mindezen feltárt jellemzők hogyan hasznosíthatók az autonóm járművek szoftveres fejlesztésekor. Csomóponti helyszíni mérések és kérdőíves kikérdezés segítségével jellegzetes gyalogos mintázatokat, érzéseket tártunk fel.

A cikk felépítése a következő: az 1. fejezetben áttekintjük a releváns irodalmak eredményeit. A 2. fejezetben részletezzük az adatgyűjtési módszert (helyszíni mérés, kérdőíves kutatás). A 3. fejezet az adatok feldolgozásával kapott eredményeket és megállapításokat tartalmazza. Végezetül a kutatás során levont következtetéseket és a továbbfejlesztés irányait foglaljuk össze.

1. Irodalomkutatás

A legmagasabb automatizálási szinten lévő járművek fejlesztése során számos kihívás leküzdése szükséges (pl. gyalogosok érzékelése [4], együttműködés a többi gépjárművel [5], energiatöltés [6]) Az egyik legjelentősebb kihívás, hogy veszélyhelyzetben hogyan reagál egy autonóm jármű. Ilyen helyzet kialakulásakor számos etikai kérdés merül fel (pl. ki meneküljön meg, „kinek ér többet az élete”). A döntések meghozatalában fontos szerepet játszhat a kulturális tényező is, a különböző kultúrában élők eltérő preferenciával rendelkeznek [7], [8]. Az etikai, vitatható felelősségi kérdések elkerülése érdekében törekedni kell a baleset megelőzésre [9]. A megelőzés szempontjából a résztvevők közötti kommunikáció fontos szerepet játszik a közlekedésben.

A jelenlegi hagyományos gyalogos – jármű (vezetője) között lezajló kommunikáció jellemzőiből következtetések levonása lehetséges a gyalogos és a vezető nélküli járművek közötti kommunikációra vonatkozóan. A gyakorlatban a nem verbális kommunikáció fontos szerepet játszik a közlekedésben (pl. szemkontaktus, villogás). Sok esetben ezen kommunikációs formák félreértéshez vezethetnek, azok szabályozatlansága miatt [10]. Fontos felismerni a rossz indulatú viselkedést is (pl. szándékos lelépés) a baleset elkerülése érdekében [11]. Az egyik megoldás erre az ún. „worst-case” szcenárió feltételezése és erre való felkészítése a szoftvernek. Azonban az óvatos vezetés nem feltétlenül csökkentené a balesetek számát; előfordulhat, hogy inkább fokozná azok mennyiségét [12].

Az utazás közbeni döntéshozatalt jelenleg is számos infokommunikációs megoldás támogatja a balesetek elkerülése érdekében; a cél, hogy a biztonságkritikus eseményeknél rendelkezésre álló rövid idő alatt is, a lehető legtöbb információ a résztvevők számára elérhető legyen [13]. A kutatások a V2X (Vehicle-to-Everything) kommunikációs technológia fejlesztésére fókuszálnak, azaz a járművek és környezetük közötti közvetlen kommunikáció fejlesztésére [14] – például: V2V (Vehicle-to-Vehicle, jármű-jármű), V2I (Vehicle-to-Infrastructure, jármű-infrastruktúra). Utóbbi alkalmazása gyakori például a parkolásiirányítás területén [15]. Számos V2I fejlesztés a gyalogos biztonság fokozásában is részt vesz (pl. gyalogátkelőhelynél a járdába épített szenzor érzékeli a gyalogost és információt küld a közeli járműnek az átkelési szándékról). Ezen fejlesztések alapvetően ígéretesek, azonban egy üzemzavar a rendszer működésében magas biztonsági kockázatot jelenthet; szükséges a járművek érzékelőinek fejlesztése is, a közvetlen érzékelés finomítása. Emellett az információ megosztása jogi akadályokba is ütközhet [16]. A jármű és a gyalogos közötti kommunikáció a V2P (Vehicle-to-Pedestrian) valósítja meg. A V2P kommunikáció következő típusai különböztethetők meg autonóm jármű esetén:

1. A vezetőüléson egy humanoid robot ül, ami az emberi viselkedést, mimikát utánozva kommunikál a gyalogossal [17].
2. A szélvédő külső része képernyőként működik, így adva információt a gyalogosok számára. A képernyő a gesztusok és a tekintet helyettesítését szolgálja. Például a korábbi járművezetők gesztusainak és tekintetének kivetítése. Ez hasznosnak bizonyulhat és a felhasználót is megnyugtathatja [17].
3. Antropomorf autonóm jármű. Emberszerű autonóm járművek, amelyek képesek kommunikálni a gyalogosokkal, például a jármű bizonyos részei (pl. lámpa) az emberi arcra hasonlítanak. Így elérhető, hogy a jármű megtalálja a szemkontaktust és egyszerű arckifejezéseket mutasson, például a jármű felteszi a „karját” ezzel jelezve, hogy álljon meg a gyalogos [18].
4. Jelzések (pl. a gyalogátkelőhely) kivetítése az úttestre, ezzel jelezve az átkelési lehetőséget.

Nguyen és társai számítógépes modellel gyakori jelzőlámpa beállításokat kombináltak vizuális elemek segítségével (zöld, sárga, piros színek kivetítése a jármű által, ami a szándékára vonatkozik), amelyet virtuális valóság szimulátor segítségével reprezentáltak 18 résztvevőnek, 4 különböző átkelési helyzettel. Megállapították, hogy a kiegészítő vizuális megjelenítések támogatják a résztvevők magabiztosságát a döntéshozatalban, akkor is, amikor az önvezető jármű sikertelenül érzékelt a jelenlétüket (pl. piros fény adása, ezzel jelezve, hogy nem áll szándékában a járműnek megállni) [19].

Trivedi és társai helyben elhelyezett kamerák segítségével képfelismerő szoftverrel azonosította a gyalogosokat és követte őket nyomon térképen [1]. Céljuk a gyalogosok számára veszélyesebb zónák felmérése volt. Kooij és társai már megkülönböztették a lassabb és gyorsabb mozgását a gyalogosoknak adott irányban így nyújtva pontosabb előrejelzést [2]. Ugyanakkor a gyalogosok szándékának becslésére kifejlesztett algoritmusok hibája, hogy korlátozottan képesek megjósolni az álló dolgok jövőbeli helyzetét, például amikor a gyalogos eléri az átkelőhelyet és megáll. Szintén problémát okoz a véletlen, ún. atipikus mozgások előre jelzése [3]. A dinamikus modellek csak akkor hatékonyak, ha folyamatos mozgást kell megfigyelniük.

Az irodalomkutatás során megállapítottuk, hogy a gyalogosok érzékelésével ugyan számos tanulmány foglalkozik technológiai szinten, de a mozgások előrejelzésével kevesebben. Továbbá az autonóm jármű és gyalogos közötti konfliktusok elkerülésével foglalkozó irodalmak a jármű-gyalogos közötti kommunikációra helyezik a hangsúlyt.

2. Módszer- gyalogosok viselkedésének feltárása

2.1 Helyszíni mérés

Helyszíni mérési módszertant dolgoztunk ki a különböző gyalogátkelőhelyeket megközelítő gyalogos forgalom átjáróval és úttal bezárt haladási szögének felmérése érdekében. A mérés eredményei alapján az átkelések, lelépések várható valószínűsége számítható, ami az autonóm járművek szoftveres fejlesztéséhez használható fel.

A mérés során a következő személyes jellemzőket különböztettük meg:

- korosztály: gyermek (<18), fiatal felnőtt (18-30), középkorú (31-60), idős (>60),
- nem,
- általános magatartás átkelés közben (szabályos/szabálytalan közlekedés),
- mozgásában korlátozottság.

A mérés során megfigyeltük, hogy az átkelőhelyen a járművek haladási irányához képest milyen szögben lépnek le a gyalogosok az átkelőhelyre, illetve, hogy az átkelőhely felé tartva milyen szöget zárnak be a közúttal. Kategóriákat határoztunk meg és vizsgáltuk, hogy milyen gyakorisággal kezdik meg a gyalogosok az átkelést az adott kategóriában, azaz általában milyen szögben közelítik meg a gyalogátkelőhelyet. A mérés szemrevételezéssel történik, így az eredmények közelítő értékek. A következő kategóriákat különböztettük meg.

- 0° ,
- kisebb, mint 45° ,
- 45° ,
- nagyobb, mint 45° ,
- 90° .

A mérés során kiegészítésként a gyalogosok szabálykövető magatartását is vizsgáltuk. Általános következtetések vonhatók le a gyalogátkelőhely kategóriák és a szabálytalankodó gyalogosok személyes jellemzői között. Ezek az autonóm jármű szoftverfejlesztésekor szintén szolgálhatnak bemeneti adatként (mely felhasználói csoporttól várható nagyobb valószínűséggel szabálytalan cselekedet).

A gyalogos viselkedést alapvetően befolyásolja a csomópont kialakítása és egyéb jellemzői, úgy mint, a közforgalmú közlekedés megállóhelyeinek közelsége és kialakítása (pl.: útmenti, középperon), a közúti és gyalogos forgalom nagysága, a közúti sávok száma, az úttest kialakítása (osztott, osztatlan), valamint az átkelőhely környékének kialakítása (pl. parkolójárművek, épületek, építmények takarása). Eltérő viselkedés tapasztalható a különböző átkelőhelytípusoknál is: nem kijelölt (utak kereszteződésénél), kijelölt, jelzőlámpával biztosított. Azonítottuk az önvezető járművek szempontjából leginkább kihívást jelentő gyalogátkelőhely kialakításokat (1. táblázat). Ezen esetekben a közlekedés kevésbé szabályozott jellege, vagy a szabálytalankodásra ösztönző kialakítás következtében az autonóm járműnek érdemes fokozott óvatossággal eljárni. Az átkelőhelyek többségénél a gyalogosoknak elsőbbsége van a járművekkel szemben, azonban a hezitáló magatartás miatt érdemes ezen kialakításokat is megvizsgálni, ugyanis ebben az esetben nem egyértelmű, hogy megkezdik-e az átkelést. A táblázatban dőlt betűkkel szedtük azokat az átkelőhelyeket, ahol a gyalogosoknak nincs elsőbbsége, ezért azok különösen veszélyes helyek, nagy figyelmet igényel a megközelítésük. Az utak mentén, nem kereszteződéseknél történő lehetséges átkeléseket nem vizsgáltuk.

Jelen kutatás keretében A1., A2., C2., C3. átkelőhely kialakításokon megfigyelhető mintázatokat vizsgáltuk. Az A1-es átkelőhelyet az alacsony járműforgalma és a közforgalmú közlekedési eszközök megállója miatt, az A2. helyszínt a középperonos megállóhelye és az alacsony járműforgalma, a C2. helyszínt a nagy forgalma és a középperonos megállóhelye és a C3 helyszínt az alacsony forgalma miatt választottuk. A mérést Budapesten a Móricz Zsigmond körtéren végeztük, ahol számos vizsgálandó átkelőhely kialakítás megtalálható. A vizsgált helyszíneket az 1. ábrán szemléltetjük, a kialakításuk azonosítóját zárójelben tüntettük fel. A mérést 2019. október 16-án 2 óra alatt végeztük, amely időtartam alatt összesen 544 gyalogost figyeltünk meg, közülük 297 volt nő és 247 volt férfi; az egyes helyszínekre

bontva (nő/férfi): 1. helyszín: 45/43, 2. helyszín: 91/86, 3. helyszín: 74/63, 4. helyin: 87/55. Korosztályok megoszlása alapján: 37 gyermek, 244 fiatal felnőtt, 211 középkorú és 52 idős. A relatív nagy mintanagyság releváns következtetések levonását teszi lehetővé.

1. táblázat: *Önvezető járművek számára kihívást jelentő gyalogátkelőhely kialakítások*

Átkelőhelytípus	Kialakítás
A. Nem kijelölt gyalogátkelőhely	A1. Közeli közforgalmú közlekedési megállóhely (forgalmas/alcsony forgalmú) A2. Villamos megállóhely középszigettel fizikai elválasztás (korlát) nélkül (villamos érkezésekor nagy tömeg) A3. Villamos megállóhely középjárda-sziget nélkül (villamos érkezésekor nagy tömeg) A4. <i>Útkereszteződés (fő út): egyenesen haladó járművek (megtévesztés)</i> A5. <i>Útkereszteződés (alárendelt út): egyenesen haladó járművek (megtévesztés)</i> A6. Fő út – alárendelt út: főútról jobbra kis ívben kanyarodás - forgalmas/ alcsony forgalmú A7. Fő út – alárendelt út: főútról balra nagy ívben kanyarodás - forgalmas/ alcsony forgalmú A8. Elkanyarodó főút keresztezése (megtévesztés)
B. Kijelölt gyalogátkelőhely	B1. Közeli közforgalmú közlekedési megállóhely (várható meggondolatlan) B2. Villamos megállóhely középszigettel - alcsony forgalom, nincs korlát (villamos érkezésekor nagy tömeg) B3. Fő út – alárendelt út: főútról jobbra kis ívben kanyarodás B4. Fő út – alárendelt út: főútról balra nagy ívben kanyarodás B5. <i>Útkereszteződés: egyenesen haladó járművek - forgalmas/alcsony forgalmú, egy/több sávós (megtévesztés)</i> B6. Több sávós út, nyílt pálya, egyenesen haladó járművek B7. Több sávós útról nagy ívben balra kanyarodás B8. Több sávós útról kis ívben jobbra kanyarodás B9. Nyílt pályán elhelyezett átkelőhely - egy/több sávós, forgalmas/alcsony forgalmú) B10. Körforgalom ki- és bejáratánál elhelyezett - egy/több sávós (megtévesztés)
C. Jelzőlámpával biztosított kijelölt gyalogátkelőhely	C1. Közeli közforgalmú közlekedési megállóhely (várható meggondolatlan) C2. Villamos megállóhely középszigettel (villamos érkezésekor nagy tömeg) C3. Több sávós útról egy sávós útra jobbra kis ívben kanyarodás - alcsony forgalom C4. Több sávós út, jobbra kis ívben kanyarodás - külön sáv, a járműveknek nincs jelzőlámpa C5. Több sávós út, alcsony forgalom, hosszú lámpa program (szabálytalan, türelmetlen gyalogos) C6. Jelzőgombos átkelőhely, hosszú lámpa program (türelmetlen, kételkedő gyalogos) C7. Kikapcsolt jelzőlámpa, több sávós út, általában éjszaka (nehezen megfigyelhető gyalogos) C8. Kikapcsolt jelzőlámpa, több sávós út, nagy ívben balra kanyarodás (nehezen megfigyelhető) C9. Kikapcsolt jelzőlámpa, jobbra kis ívben kanyarodás C10. Kikapcsolt jelzőlámpa, egy sávós út (nehezen megfigyelhető)



1. ábra: Mórty Zsigmond körtér – mérési helyszínek

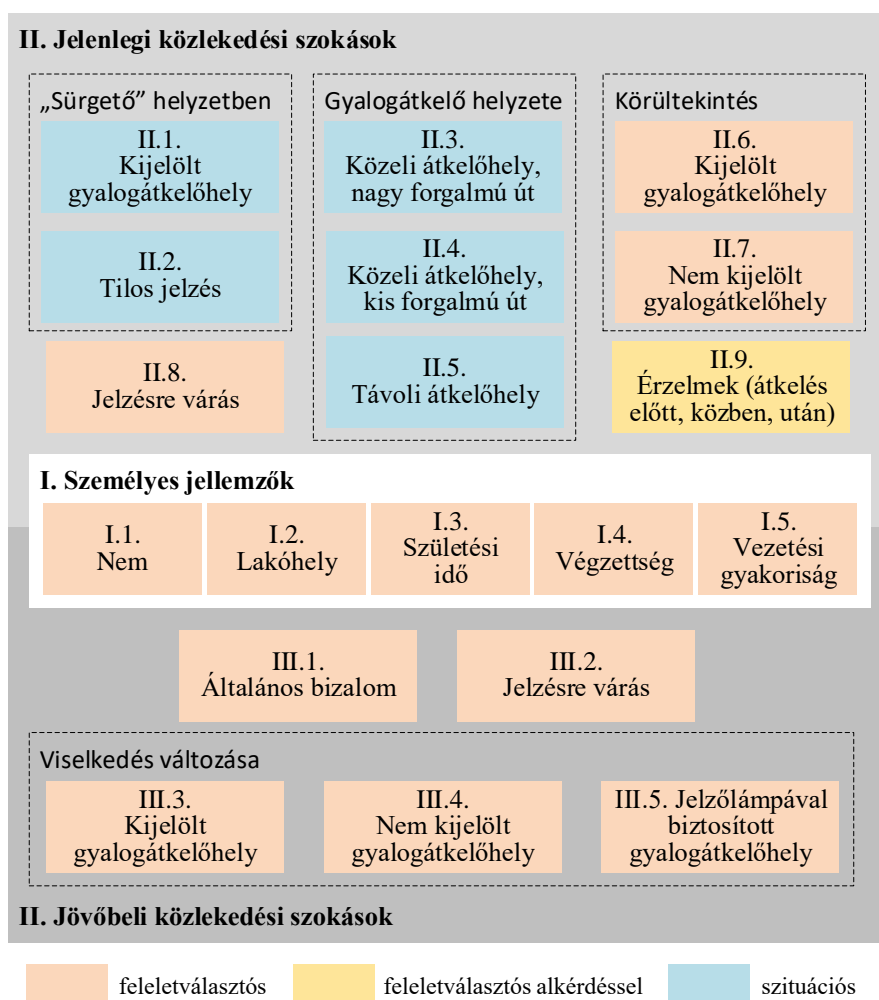
2.2 Kérdőíves felmérés

Kérdőíves felmérés elvégzésével tártuk fel a gyalogosok, mint közlekedési szereplők átkelési szokásait, érzéseit és azok változását az önvezető járművek megjelenésével. A kérdéseket az alábbi kérdéscsoportokba soroltuk:

- I. személyes jellemzők,
- II. jelenlegi közlekedési szokások,
- III. jövőbeli közlekedési szokások (autonóm járművek megjelenését követően)

Olyan kérdéseket fogalmaztunk meg, amelyek alapján összefüggéseket lehet feltárni a gyalogosok személyes jellemzői és átkelési szokásai, érzéseik között.

A kérdőív szerkezetét a 2. ábrán foglaltuk össze. Egy kérdést egy doboz tartalmaz; a kérdéstípusokhoz eltérő színezés tartozik. A kérdéstípusok: feleletválasztós egy válasz megadásával (narancssárga), feleletválasztós alkérdésekkel, több válaszlehetőség megadásával (citromsárga); szituációt leíró (kék). Az alkérdések az átkelés előtti, közbeni és követő viselkedésre vonatkoznak. A szituációt leíró kérdések szintén feleletválasztós kérdések, ugyanakkor mivel egy-egy konkrét elképzelt szituációra vonatkozik, emiatt külön típusként különböztek meg őket; a szituációkat ábrával is szemléltettük.



2. ábra: Kérdőív felépítése

Az összefüggések megállapításakor a válaszok közötti kapcsolatot vizsgáltuk. A kiértékelést nemek szerinti bontás alapján készítettük; a gyalogosok szabálykövető magatartása, illetve a gyalogosokban lezajló érzelmekre helyeztük a hangsúlyt.

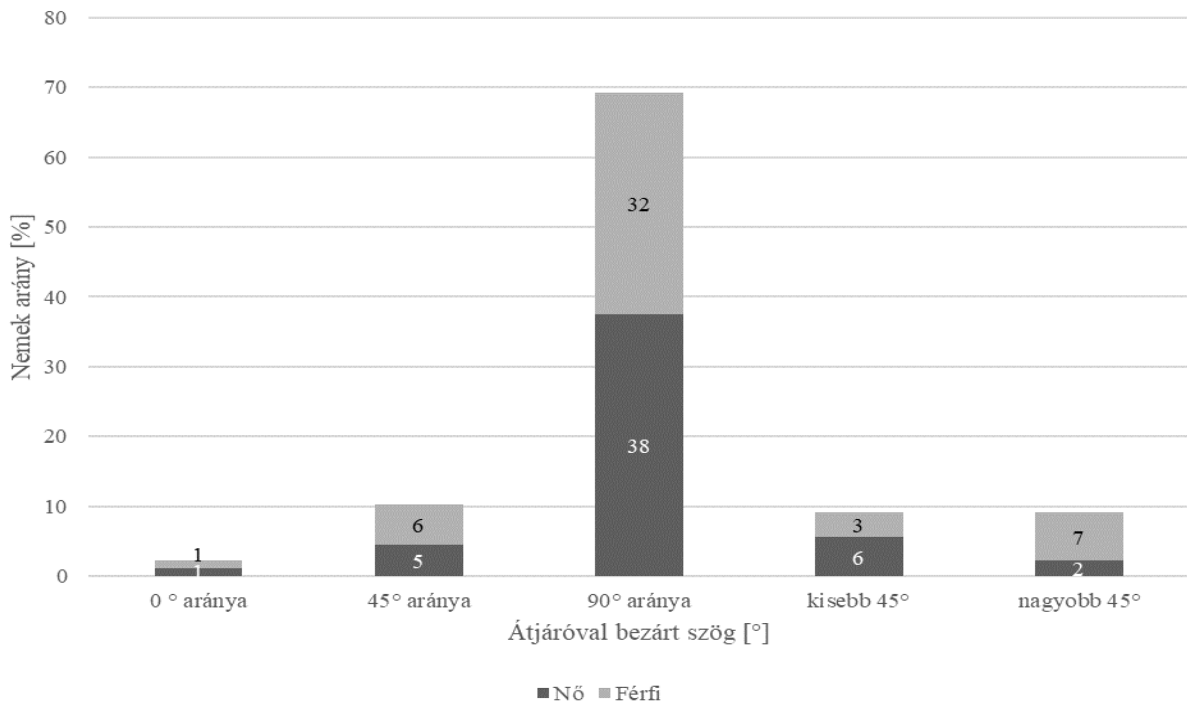
A kérdőív a Google Űrlapok segítségével készült. A felmérést 2019.09.29. - 2019.10.11. között, internetes kikérdezéssel végeztük. Összesen 173 darab válasz érkezett. Statisztikai mintavételes, vagy véletlenszerű mintás kikérdezésére nem volt lehetőségünk. A kérdőív közösségi oldalon, valamint a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatói között került terjesztésre. Az eredmények nem reprezentatívak, azonban kezdeti összefüggések feltárása ezek alapján elvégezhető.

3. Eredmények és következtetések

3.1 Gyalogos átkelőhely megközelítése

Gyalogos haladási iránya – átjáróval bezárt szög

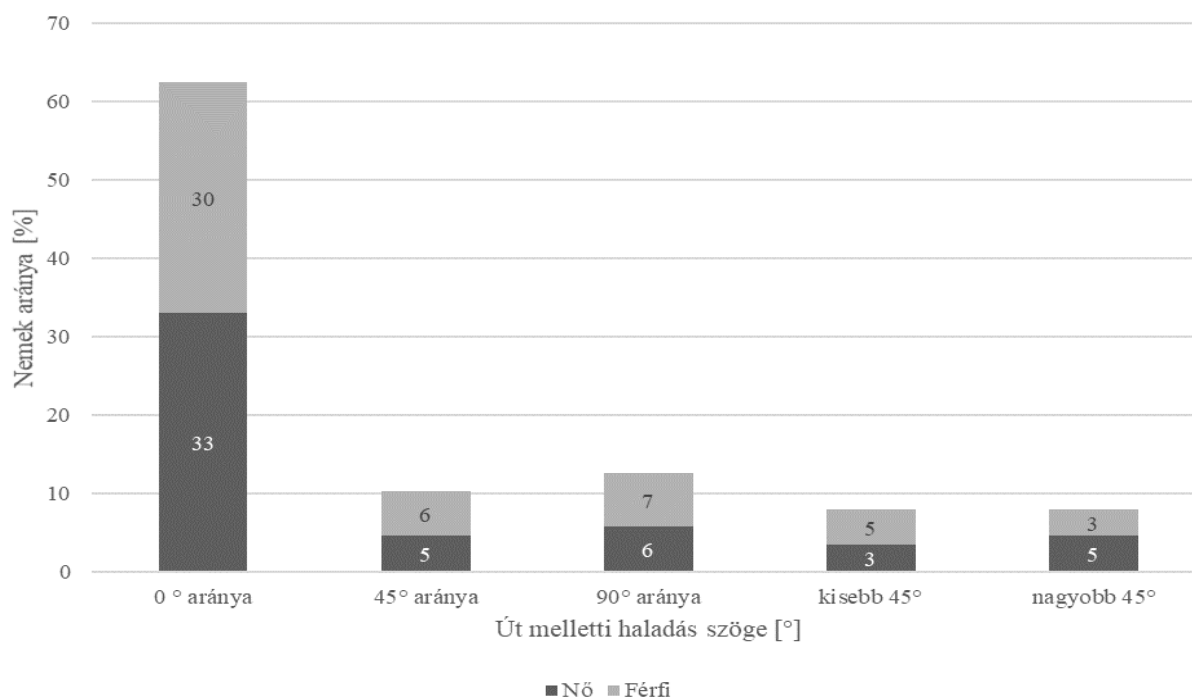
A gyalogos haladási iránya és az átjáróval bezárt szög megoszlását mutatja nemek szerint egy jelzőlámpával biztosított gyalogátkelőhelyen példaként a 3. ábra (1. helyszín, C3. kialakítás). A többi helyszínen mért adatok együttes kiértékelése után megállapítottuk, hogy a nemek alapján nem különül el számottevően, hogy a gyalogosok milyen szögben hagyják el a járdát. Továbbá, a gyalogosok helyszíntől függetlenül közelítik meg az átkelőhelyet és jellemzően 90° szögben lépnek rá.



3. ábra: Gyalogos haladási iránya és az átjáró által bezárt szög megoszlása nemek szerinti bontásban (1. helyszín, C3. kialakítás)

Gyalogosok haladási iránya – közúttal bezárt szög

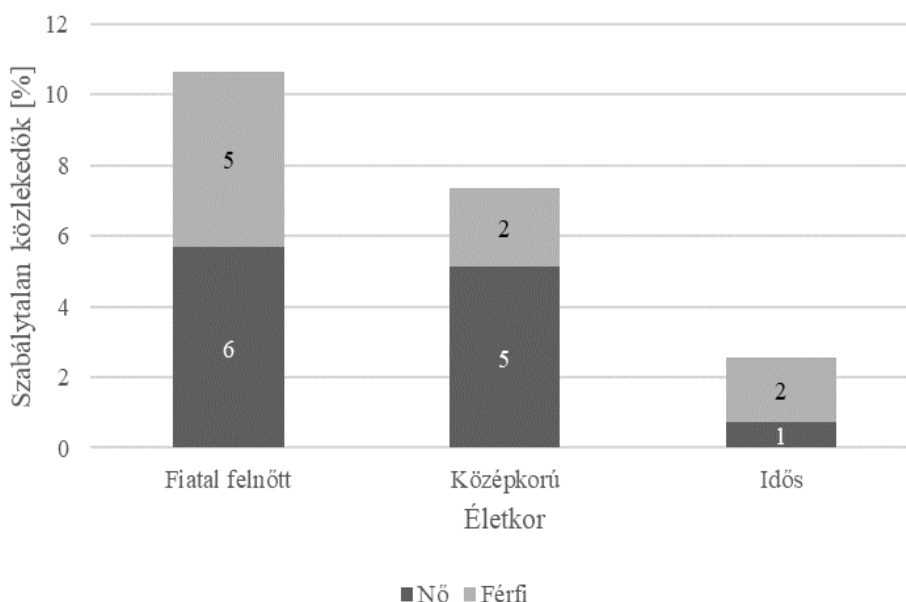
A gyalogosok úttel bezárt haladási szögének megoszlását mutatja nemek szerint példaként a 4. ábra (1. helyszín, C3. kialakítás). Az eredmények alapján, mind a négy helyszín esetében, a lelépési szögek nagyjából az átkelőhelyre történő lépésnek az ellentétei. Ez azzal magyarázható, hogy az átkelőhelyek kialakítása többségében merőleges a járdára. Az összes helyszínen mért adat kiértékelésével megállapítottuk, hogy az épületek alakja (például íves), valamint a parkoló helyek kialakítása, a parkoló járművek helyzete erősen befolyásolja a közelben lévő gyalogátkelőhelyek megközelítési módját (pl.: ha a haladás útjába esik egy aluljáró, akkor azt a gyalogosok kikerülik, így megszakad a párhuzamos haladás az úttal). Megállapítottuk továbbá, hogy a nagyobb, csak a gyalogosok számára kialakított területről érkezők a szabad mozgás lehetősége ellenére is az úttal párhuzamos mozgást preferálják. A közforgalmú közlekedési megállóhelyek befolyásoló hatása is jelentős a jármű elhagyását követő gyaloglási fázisnál (pl.: körültekintés nélkül lép az úttestre, hogy elérje a villamost). Éppen ezért érdemes figyelembe venni a megállóhelyek és a legközelebbi átkelőhelyek kialakítását az autonóm járművek szoftverfejlesztésénél; a jármű a gyalogos haladási irányának, lelépési szögének detektálásával következtethet az átkelési szándékra, ezáltal felkészülhet az időben történő megállásra. A mérés legfőbb eredménye: az úttestre lépés leggyakoribb szöge a 90°, vagyis merőleges, az út mellett haladás szöge pedig a 0°, vagyis a gyalogosok általában párhuzamosan haladnak az úttessel mielőtt lelépnének a gyalogátkelőhelyre.



4. ábra: Gyalogosok közúttal bezárt haladási szöge nemek szerinti bontásban (1. helyszín, C3. kialakítás)

Szabálytalan magatartás

A mérési helyszíneken összesített szabálytalan magatartás megoszlását mutatja az 5. ábra személyes jellemzők alapján (nem, életkor). A mérés során a gyalogosok megközelítőleg 80%-a szabályosan közlekedett. A mért eredmények alapján megállapítottuk, hogy a férfiak szabálytalanabbak, valamint jellemzően fiatal felnőttek azok, akik a legtöbb szabálytalanságot elkövették (gyermekek körében nem tapasztaltunk szabálytalanságot). A megállapított adatok alapján a fiatal férfiakat és nőket nagy odafigyeléssel érdemes megközelítenie az önvezető járműveknek.



5. ábra: Szabálytalanul közlekedők

3.2 Úttest keresztezési szokások

Körültekintő magatartás

A kérdőíves felmérés válaszainak kiértékelése alapján a gyalogosok általában körültekintően közelítik meg a gyalogátkelőhelyeket. A kitöltők nagy része egy kevésbé biztosított átkelőhelyen sürgető helyzetben (pl.: ha siet a közforgalmú közlekedési eszközhöz) nagyobb körültekintéssel jár el, mint egy jelzőlámpával biztosított kereszteződésnél (II.1., II.2. kérdések). A helyszíni mérés alkalmával azonban ennek az ellenkezőjét tapasztaltuk. Ennek oka lehet, hogy nem a megfigyelt személyek töltötték ki a kérdőívet, továbbá, hogy a kérdőív anonimitása ellenére sem vallják be a kitöltők, ha szabálytalanul közlekednek. Az előző megállapítás alapján is következik, hogy a közforgalmú közlekedés fontos befolyásoló tényező a gyalogosok viselkedésének szempontjából. A helyszíni mérés eredményeit és a kérdőívre érkezett válaszokat összevetve megállapítottuk, hogy a gyalogosok kiszámíthatatlanabb módon viselkednek a közforgalmú közlekedési eszköz érkezésekor és az utascsere időtartama alatt. Ugyanakkor az általánosan körültekintő magatartást erősíti, hogy a kitöltők körében nem fordul elő gyakran, hogy nem néznek körül mielőtt lelépnek a kijelölt gyalogátkelőhelyre (a kitöltők csupán 15%-a tekint csak esetenként körül) (II.6. kérdés). Az autonóm járműveknek célszerű a közforgalmú közlekedési eszközök menetrendi és valós érkezését is figyelembe venni, ha a megálló közelébe érnek; ezen esetekben nagyobb valószínűséggel számíthatnak kilépő, szabálytalankodó gyalogosra.

Szabálytalan magatartás

A nem kijelölt, de szabályos helyen (pl. utak keresztezésénél) történő átkelések gyakoriságát nemek szerinti bontásban a 2. táblázatban foglaltuk össze (II.7. kérdés) Az eredmények alapján a férfiak többször rövidítik le így útjukat, mint a nők.

2. táblázat: Nem kijelölt helyen (szabályos) történő átkelés gyakorisága nemek szerint [%]

Nemek	Mindennap	Rendszeresen	Ritkán	Soha
Nő	12	31,5	52,5	4
Férfi	41	29	30	0

A válaszadók bevallása alapján a tilos jelzésen történő áthaladás gyakoriságának megoszlását nemek szerint a 3. táblázatban mutatjuk be (II.2. kérdés). A férfiak többsége a tilos jelzés ellenére is átkel, ha nem látja értelmét a kihelyezett jelzőlámpának.

3. táblázat: Tilos jelzésen átkelés megoszlása nemek szerint [%]

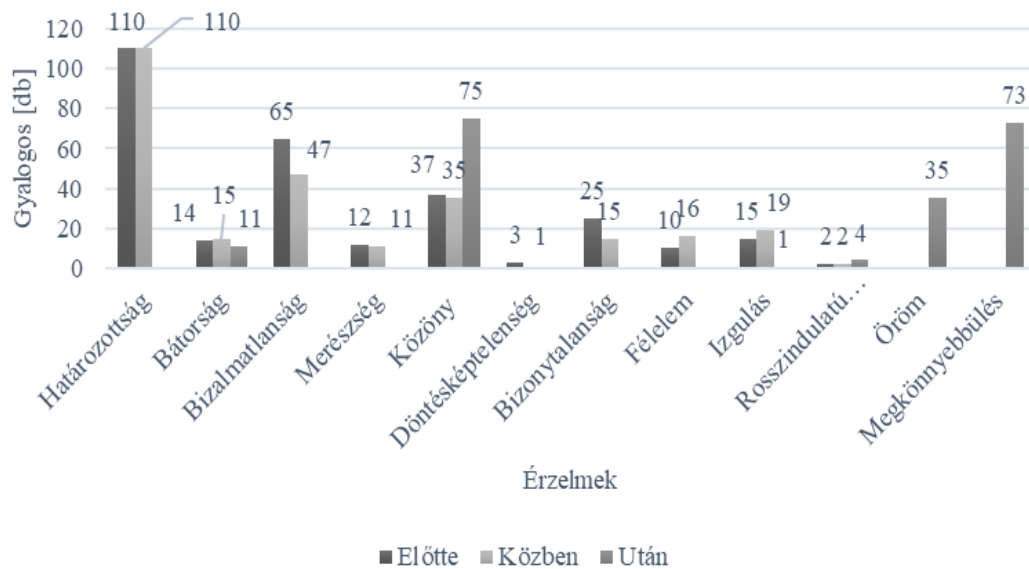
Nemek	Soha	Akkor, ha nem látja értelmét a tilos jelzésnek	Gyakran
Nő	62	37	1,5
Férfi	38	57,5	4

Felmértük a szabálytalan helyen történő átkelés gyakoriságát is. Megállapítottuk, hogy a férfiak többször kelnek át nem átkelőhelyként működő szakaszán az útnak (56%, amelyből 23% rendszeresen rövidíti le az útját).

Összességében megállapítottuk, hogy fontos befolyásoló tényező a gyalogos neme az átkelési viselkedés alakulásában; a férfiak körében gyakrabban előfordul a szabálytalanság, mint a nők körében. Az autonóm járműveknek érdemes detektálni a gyalogos nemét, amelyből következtetés levonása lehetséges a szabálytalanság elkövetésének valószínűségére.

Érzelmek

A kitöltőkben az úttestkeresztezése által kiváltott érzelmeket a 6. ábrán foglaltuk össze, megkülönböztetve a folyamat megkezdése előtti, közbeni és befejezése utáni állapotot (II.9. kérdés). A kitöltők többsége határozott mielőtt lelép és átkelés közben is az. A férfiak általánosságban határozottabbak, mint a nők, ezért várhatóbb, hogy a nők inkább megállnak és megvárják, hogy lassítson a jármű vagy jelezzen nekik. Átkelés közben a kitöltők többsége határozott. Átkelés után pedig sokan megkönnyebbülnek vagy pedig nem táplálnak semmilyen érzelmet. A kitöltők körében nagy számban fordulnak elő bizonytalan közlekedők is átkelés közben, akiknek szükséges lesz az autonóm járművek részéről valamilyen jelzés adása. Érdemes figyelmet fordítani a mimika, testtartás és gesztikulálás detektálására is az autonóm járművek esetében, amelyekből kikövetkeztethető a lelépési szándék.



6. ábra: Átkelés közbeni érzelmek

Kijelölt gyalogátkelőhely távolsága

Az átkelőhely távolsága és a forgalom sűrűsége fontos befolyásoló tényező az átkelési hajlandóság és viselkedés során. Az egy-egy elképzelt szituációra adott (II.3., II.4., II.5. kérdések) válaszok alapján, azon esetekben amikor az átkelőhely közel helyezkedik el az aktuális pozícióhoz a forgalom nagyságának mérlegelésével dönt a gyalogos, hogy szabálytalanul kel-e át, vagy elmegy a kijelölt gyalogátkelőhelyig. A kitöltők nagy forgalom esetén a gyalogátkelőhelyet választanák (95%), ezzel szemben alacsony forgalom esetén a kitöltők 57%-a menne csak el a kijelölt átkelőhelyig. Ez az autonóm járművek fejlesztése szempontjából szintén fontos tényező, ugyanis egy alacsonyabb forgalmú úton nagyobb eséllyel sétál ki egy gyalogos, egy a jármű számára váratlan helyen, mint egy forgalmasabb úton.

Autonóm járművek megjelenése

A gyalogosok átkelőhelytípusok szerint eltérő módon reagálnának az autonóm járművekre; eltérően viselkednek és eltérő „viselkedést” várnak el a járműtől. A válaszadók körében a nők 30%-a negatívan reagálna egy ilyen jármű érkezésére egy jelzőlámpával nem biztosított helyen és valamilyen jelzésre várnának átkelés előtt. A férfiak jobban elfogadják az autonóm járműveket (csupán 22%-a nem örülne, ha ilyen járművek közlekednének az utakon). Jelzőlámpával biztosított helyzetben már kevésbé tartanak az autonóm járművektől a nők is (66%). A kitöltők többsége autonóm járművek közlekedése esetén kevésbé merne átkelni egy nem kijelölt gyalogátkelőhelyen. Közel negyedük, inkább kerülne egy kijelölt gyalogátkelőhelyig. Az autonóm járművekkel – valószínűsíthetően a fejlesztés kezdeti fázisa miatt – nagy a bizalmatlanság. Ugyanakkor a kezdeti fázisban az autonóm járművek megjelenése szabályos viselkedésre sarkallhatja a gyalogosokat. Bizonyos tanulmányok felvetik [16], hogy az autonóm járművek emberi vonásokkal történő felruházása a járókelők bizalmának elnyerését szolgálja. A kérdőívre érkezett válaszok azonban az ellenkezőjét mutatják. A válaszadók jobban preferálták azokat a megoldásokat, ahol a jármű fény- vagy hangjelzés segítségével tudatná, hogy érzékelt a gyalogost és átengedi, esetleg egy felirattal, vagy a kivetített átkelőhely képével (A kitöltők 98%-a választotta a zebra képének kivetítését és valamilyen jelzés adását (pl.: hang)).

Konklúzió

Ahhoz, hogy az autonóm járműveket alkalmazó közlekedési rendszerben javuljon a közlekedésbiztonság, a közlekedők, elsősorban a sérülékeny utazók szándékának előrejelzése szükséges. A kutatás során csomóponti helyszíni mérések és kérdőíves felmérés segítségével azonosítottunk a jellegzetes gyalogos mozgásokat, viselkedési formákat, valamint úttestkeresztezés közbeni érzelmeket. Az eredmények felhasználásával az autonóm járművek szoftverfejlesztése során szélesebb kép kapható a gyalogosok szándékáról, előre becsülhető a következő lépésük. A kutatás legfőbb megállapításai a következők:

- Nemek szerint nem különül el a járda elhagyásának szöge. Így az egyén neme nem befolyásolja, hogy milyen szögben várható a lelépés. A leggyakoribb lelépési szög a 90° . Az autonóm járműnek számítani kell a gyalogos lelépésére, ha a jármű az átkelőhelynél 90° -os szöget állapít meg a gyalogos mozgási iránya és az átkelőhellyel bezárt szög esetében.
- Az úttal bezárt szögek a mért helyszínek mindegyikénél az átkelőhelyre történő lelépésnek az ellentétei. Amikor a gyalogos 90° -os szögben lépett le, addig az átkelőhely felé az estek nagy részében az úttal párhuzamosan haladt. Az autonóm jármű az útmenti haladás szögéből következtetni tud arra, hogy át fog-e kelni a gyalogos; azonban ezt az átkelőhelytől nagy távolságokra nem célszerű alkalmazni.
- A szabad mozgás lehetősége ellenére is az úttal párhuzamos haladás a jellemző. Ez a gyalogosok szándékának előre becsüléséhez fontos paraméter, kikövetkeztethető, hogy hol fog átkelni.
- A közforgalmú közlekedés számára kialakított megállóhelyeknek befolyásoló szerepe jelentős a le- és felszálló gyalogosok útvalasztására. A megállóhelyek és átkelőhelyek egymáshoz képesti helyzete alapján a jármű következtetni tud arra, hogy milyen szögben lépnek le elé és hol a gyalogosok, ezáltal felkészülhet az időben történő megállásra.
- Fontos befolyásoló tényező az előre becsülésben a gyalogos neme is, a férfiak körében gyakrabban fordul elő szabálytalanság. Valamint a férfiak határozottabbak átkelés során a nőknél.
- A nők bizonytalanabbak az önvezető járművekkel szemben.
- Az autonóm járművek megjelenése szabályos viselkedésre sarkallja a gyalogosokat addig, amíg már megszokott nem lesz a jelenlétük.
- Nem feltétlenül szükséges emberi vonásokkal ellátni az önvezető járműveket, ahhoz, hogy a gyalogos átkelés közbeni biztonságérzete növekedjen.

A téma terület újszerűsége és társadalmi ismeretlensége kihívást jelentett a kérdőív összeállításakor; a kérdéseket úgy kellett összeállítani, hogy kevés háttértudással is megválaszolhatók legyenek, ugyanakkor releváns következtetések levonását is lehetővé tegyék. A területben rejlő kutatási potenciál jelentős, így a jövőben számos irányban fejleszhető a kutatás; az azonosított átkelő kialakítások mindegyikén elvégezzük a méréseket. Továbbá az eredmények felhasználásával olyan alkalmazást fejlesztünk, amely a valószínűség számítás segítségével megjósolja annak a valószínűségét, hogy lelép-e a jármű elé egy gyalogos annak haladási szöge és személyes jellemzői, valamint a terület kialakítása alapján.

Köszönetnyilvánítás

EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00001: Tehetséggondozás és kutatói utánpótlás fejlesztése autonóm járműirányítási technológiák területén - A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást a Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program támogatta, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Mesterséges Intelligencia (BME FIKP-MI/FM) tématerületi programja keretében.

Irodalomjegyzék

- [1] Trivedi M. - Moeslund T. – Møgelmoose A.: Trajectory analysis and prediction for improved pedestrian safety: Integrated framework and evaluations. in Intelligent Vehicles Symposium (IV) 330–335. 2015, DOI 10.1109/IVS.2015.7225707
- [2] Kooij J. – Schneider N. – Gavrila D.: Analysis of pedestrian dynamics from a vehicle perspective. in Intelligent Vehicles Symposium, Dearborn, Michigan, USA, 2014, 1445–1450.
- [3] Rasouli A. – Kotseruba I. – Tsotsos J.: Understanding Pedestrian Behavior in Complex Traffic Scenes. Transactions on Intelligent Vehicles, 3:1-9, 2018, DOI 10.1109/TIV.2017.2788193
- [4] Wang H. – Wang B. – Liu B. – Meng X. – Yang G.: Pedestrian recognition and tracking using 3D LiDAR for autonomous vehicle Robotics and Autonomous Systems 88:71-78, 2017
<https://doi.org/10.1016/j.robot.2016.11.014>
- [5] Ali A. – Jiang L. – Patil S. – Li J. – Heath R.: Vehicle-to-Vehicle Communication for Autonomous Vehicles: Safety and Maneuver Planning 2018, 88th Vehicular Technology Conference, DOI: 10.1109/VTCFall.2018.8690946
- [6] Csonka B. – Csiszár Cs.: Determination of Charging Infrastructure Locations for Electric Vehicles. Transportation Research Procedia, 27:768–775, 2017. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.12.115
- [7] Blyth P. – Mladenovic M. - Nardi B. – Su N. – Ekbia H.: Driving the Self-driving Vehicle: Expanding the Technological Design Horizon. Dublin. 2015. International Symposium on Technology and Society, DOI: 10.1109/ISTAS.2015.7439419
- [8] Bonnefon J. - Shariff A. - Rahwan I.: The Social Dilemma of Autonomous Vehicles. Science, 352:1573–1576, 2016. DOI: 10.1126/science.aaf2654
- [9] Lukovics M. - Udvari B. - Zuti B. - Kézy B.: Az önvezető autók és a felelősségteljes innováció. Közgazdasági Szemle, LXV, 949–974., 2018.
- [10] Risser R.: Behavior in traffic conflict situations. Accident Analysis & Prevention, 17: 179–197, 1985
- [11] Färber B.: Communication and communication problems between autonomous vehicles and human drivers, in Autonomous Driving, 125–144, 2016 DOI: 10.1007/978-3-662-48847-8_7
- [12] Johnston D.: Road accident casualty: A critique of the literature and an illustrative case. Ontario: Grand Rounds. Department of Psychiatry, Hotel Dieu Hospital 1973.
- [13] Winkler Á. – Horváth B.: Intelligent decision support technologies in public and individual transport. Intelligent Decision Technologies, 11(4):441-449, 2017. DOI: 10.3233/IDT-170307
- [14] Silberg G. – Manassa M. – Everhart K. – Subramanian D. – Corley M. – Fraser H. – Sinha V.: Self-driving car: Are we ready? KPMG, tanulmány, 2013.
<https://www.kpmg.com/Ca/en/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/Documents/selfdriving-carsnext-revolution.pdf> (2019.10.28.)
- [15] Sándor Zs. – Csiszár Cs.: Role of Integrated Parking Information System in Traffic Management. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 59(3):327-336, 2015. DOI: 10.3311/PPci.7361
- [16] Mirmig N. – Kühnlenz B. – Sosnowski S. – Landsiedel C. – Wollherr D. – Weiss A. – Tscheligi M.: Feedback guidelines for multimodal human-robot interaction: How should a robot give feedback when asking for directions? in Robot and Human Communication (ROMAN), International Workshop, 533–538, 2012, DOI: 10.1109/ROMAN.2012.6343806
- [17] Mirmig N. – Perterer N. – Stöllnberger G. – Tscheligi M.: Three Strategies for Autonomous Car-to-Pedestrian Communication: A Survival Guide. in the Companion of the International Conference, 209-210, 2017, DOI: 10.1145/3029798.3038402
- [18] Kooij J. – Schneider N. – Flohr F. – Gavrila D.: Context-based pedestrian path prediction. in 618–633, 2014.
- [19] Nguyen T. – Holländer K. – Hoggenmueller M. – Parker C. – Tomitsch M.: Designing for Projection-based Communication between Autonomous Vehicles and Pedestrians, the 11th International Conference, 2019, DOI: 10.1145/3342197.3344543