

Alkalmasak-e az önvezető jármű LIDAR érzékelői a biztonságos közúti csomóponti látótávolságok vizsgálatára?

Are LIDAR sensors in self-driving vehicles capable for analyzing safe road intersection sight distances?

MAGYARI Zsófia¹, Dr. KOREN Csaba²

¹ okl. infrastruktúra-építő mérnök, PhD hallgató, Széchenyi István Egyetem, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék, 9026 Győr, Egyetem tér 1, e-mail: mzsofi@sze.hu

² okl. építőmérnök, professzor emeritus, Széchenyi István Egyetem, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék, 9026 Győr, Egyetem tér 1, e-mail: koren@sze.hu

ABSTRACT

Sight triangles are defined to analyse the visibility of the intersections. Visibility must be ensured within the area delimited by the triangle. In our infrastructure research, we try to answer two questions. One is whether LiDAR sensors of self-driving vehicles are able to measure the field of view at intersections at the required distance and quality, and the other is whether vehicle LiDAR surveys can be used posteriorly for visibility studies at intersections.

KIVONAT

A közúti csomópontok láthatóságának vizsgálatára látóháromszögeket határoznak meg. Ezeket belül biztosítani kell az akadálymentességet. Kutatásunk szempontjából két kérdést igyekszünk megválaszolni. Egyik, hogy az önvezető járművek LiDAR érzékelői képesek-e a szükséges távolságban és minőségben vizsgálni a látóteret a kereszteződésekben, a másik, hogy a járművek LiDAR-os felmérései utólagosan felhasználhatók-e a csomópontok láthatósági vizsgálatára.

Kulcsszavak: közúti csomópont, láthatóság, felmérés, önvezető jármű, LiDAR

1. AUTONÓM JÁRMŰVEK ÉRZÉKELŐI

A jármű helyes navigációjához szükséges a jármű környezetének felmérése és folyamatos észlelése. A következő technológiák ezt a feladatot különféle hullámhossz-tartományban végzik.

- Radar: Olyan érzékelő rendszer, amely rádióhullámokat használ a tárgyak távolságának, irányszögének szögének vagy sebességének meghatározására.
- LiDAR: Light Imaging, Detection, And Ranging (lézer alapú távérzékelés) A műszer lézer sugarat bocsált ki, amely a tárgy felszínről visszaverődik. A LiDAR rögzíti a tárgy polárkoordinátáit (horizontális, vertikális szögeket és távolságot) és intenzitását.
- Ultrahang: Az ultrahangos eszközök tárgyak felismerésére és a távolság mérésére használják.
- Digitális kamera: Megfelelő mennyiségű tanulókép alapján mesterséges intelligenciát alkalmazó programok képesek a tárgyak osztályozására, például: közlekedési táblák, sávok, járművek és gyalogosok azonosítása.

A kamera előnye a nagy felbontás és az osztályozás képessége, de sötétben és rossz látási viszonyok között nem alkalmazható. Távolságmérés ugyan lehetséges fényképek alapján, de egyelőre kevésbé megbízható. A LiDAR távolság mérése 1-2 cm pontos és teljesen sötétben is tud mérni, hiszen saját lézer jelet bocsájt ki. A LiDAR pontfelhőjét is lehet osztályozni, de ez komplikáltabb feladat és a felbontása sem éri el a fénykép részletességét, valamint a felvétel könnyen zajos lehet. A radar jól

kiegészíti a kamera és LiDAR érzékelőket mert nem zavarja az esetleges rossz időjárás és jó a sebesség mérésben is. A hatékonyság növelésének érdekében célszerű a három érzékelőt együttesen alkalmazni. Az 1. táblázat összefoglalja az érzékelők specifikációit és összehasonlítja az emberi érzékelő képességekkel.

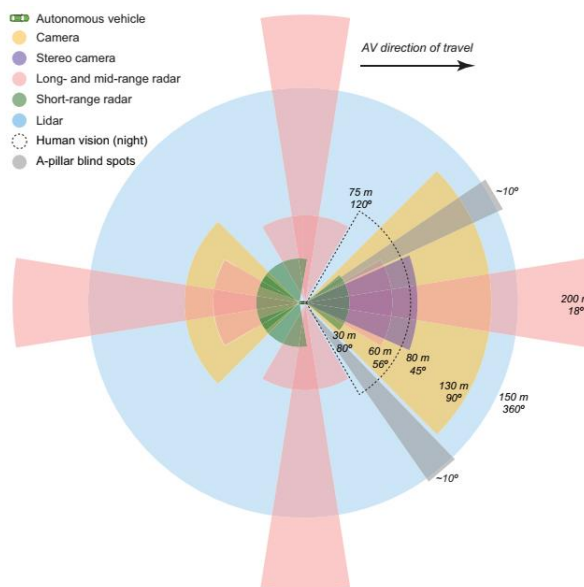
Önvezető jármű érzékelőinek jellemzése [1]

1. táblázat

Szempontok	Ember	Önvezető jármű		
		Radar	LIDAR	Kamera
Objektumok észlelése	Jó	Jó	Jó	Megfelelő
Objektumok azonosítása	Jó	Gyenge	Megfelelő	Jó
Távolságbecslés	Megfelelő	Jó	Jó	Megfelelő
Élek észlelése	Jó	Gyenge	Jó	Jó
Sávtartás	Jó	Gyenge	Gyenge	Jó
Látótávolság	Jó	Jó	Megfelelő	Megfelelő
Kedvezőtlen időjárási viszonyok	Megfelelő	Jó	Megfelelő	Gyenge
Sötétség vagy gyenge megvilágítottság	Gyenge	Jó	Jó	Megfelelő
Kommunikációs a többi közlekedővel	Gyenge	-	-	-

2. A SZENZOROKKAL FELMÉRHETŐ TERÜLET

Az 1. ábra egy példa arra vonatkozóan, hogy a jármű különböző pontjain elhelyezett érzékelők mekkora térrészeket képesek lefedni. Természetesen nem minden fejlesztő használja az összes műszer típusát.



1. ábra
Érzékelt területek [1]

A kék kör egy 360 fokos forgó LiDAR által detektált terület 150 méteres sugárral. Ez a típus talán a legköltségesebb érzékelő. A másik LiDAR típus a SSL (Solid-State LiDAR, szilárd testű, azaz nem tartalmaz mozgó alkatrészeket) előnye az ára és a hatótávolsága. Hátránya, hogy csak egy adott szögben képes mérni.

A sárga és lila területek a kamerák által megfigyelt részek. A távolságméréshez szükséges, hogy egyidőben két kamera felvételének szükséges átfedettsége (lila) meglegyen, ezt biztosítják a sztereo-kamerák. Az ábrán viszonyítás képen szaggatott vonallal van jelölve az emberi szem látótere éjszakai fényviszonyokhoz tartozó távolsággal, valamint szürkével az A oszlopok okozta holt-terek.

Összeségében egymást kiegészítő szenzorok és azoknak elhelyezésével vizsgálható a jármű több száz méteres környezete. A cél, hogy az önvezető járművek bármilyen infrastruktúrát biztonságosan és hatékonyan tudják használni, akár kizárólagosan a saját méréseire hivatkozva.

Annak ellenére, hogy ezek az eszközök pontosabban fel tudják becsülni a tereptárgyak helyzetét, meg tudják különböztetni a sávokat, járműveket, közlekedési lámpákat, mégis nehézséget okoz, ha sok objektum van egymáshoz közel vagy ha az érzékelt pontok sokasága mozog egyszerre együtt mert gátolja a felismerést és elkülönítést. Nehezen különíti el a lágy tárgyakat a kemény anyagúaktól, például egy a levegőben repülő zacskót is ugyanolyan akadálynak vél mintha fémből volna, és annak megfelelően reagál.

Ezek a szenzorokra támaszkodva kell a kereszteződésekben is navigálni. A lézerszkenner kiváló technológia arra vonatkozóan, hogy távoli akár pár százméterre is elég nagy sűrűségű és pontosságú információkat lehessen gyűjteni és a legtöbb teszt jármű fel is van szerelve ilyen eszközzel. A következő két fejezet kifejezetten az autonóm járművek LiDAR érzékelőit vizsgálja a kereszteződések láthatóságának szempontjából.

3. AUTONÓM JÁRMŰVEK LIDAR ÉRZÉKELŐINEK PARAMÉTEREI

Egy LiDAR érzékelő, akkor képes felmérni egy objektumot, ha az a mérési tartományán belül van, azaz hatótávolságon és látószögön belül, illetve a tárgynak akkora a kiterjedése, hogy több, az azonosításhoz szükséges mennyiségű lézerjel érkezen róla vissza a műszerbe. Minél nagyobb a műszer felbontási képessége, annál több pont keletkezik a tárgyról távolság függvényében. A következőkben a LiDAR-nak ezt a három technikai paraméterét és határait ismertetjük. Várhatóan ezek az értékek folyamatosan javulni fognak a jövőben, azonban szükséges ismerni ahhoz, hogy megmondható legyen, hogy egy kereszteződést mennyire tud vizsgálni.

3.1. Távolság

Az emberi szem elláthat a horizontig, ha nincsenek akadályok és jók a fényviszonyok. A horizont távolsága a szemmagasságtól függ; a járművezető akár 3,5 kilométert sík terepen, ha a szemmagasság egy méter. A LiDAR érzékelők maximális hatótávolsága LiDAR típusától függ, általában 120 és 300 m között van. A 2. ábra egy Pandar64 360 fokos LiDAR mérés eredményeit mutatja különböző távolságoktól [2]. A távolság növekedésével a pontok száma csökken. A LiDAR-ok 1-3 cm-es pontossággal képesek a távolságok mérésére. Az emberek távolságbecslési képességei ennél sokkal rosszabbak és egymástól igen eltérőek [3].



2. ábra

LiDAR mérései 30 és 100 méteres távolságból [2]

3.2. Látómező

A második mutató a látómező. A vezetőüléskben az embernek korlátozott látótere van a jármű kialakítása és az ember mozgási, elfordulási képességei miatt. Az új-zélandi vasúti kereszteződések tervezési irányelve maximális még elfogadható fej-elfordulási szöveget határozza meg: balra 110° és jobbra 140° [4]. Megjegyezzük, hogy ezek az értékek baloldali közlekedésre, tehát jobboldali vezetőülésre érvényesek.

3.3. Szögfelbontás

A harmadik mutató a szögfelbontás azaz látásélesség, amely átlagosan egy fok perc (0,017 fok) az embereknél. Ez a legkisebb látószög két különböző tárgy elkülönítéséhez. Egy méteres távolságból két, legalább 0,3 mm-es tárgyat lehet megkülönböztetni vagy egy személygépjárművet el meg lehet különböztetni az úttesttől 1,7 km-es távolságból, tökéletes szemmel és nappali fényben a földgörcsület figyelembevétele nélkül. A második táblázatban az online elérhető közzétett műszaki paraméterek szerint a szilárdtestű LiDAR legjobb értéke 0,03 °, a 360 ° -os LiDAR esetében pedig 0,03 °. Ezek az értékek nem érik el az emberi képességeket. A szilárdtestű LiDAR-ok nagyobb távolságmérési tartományban vannak, és költségeik alacsonyabbak, mint a 360 fokos LiDAR-ok, ám hátrányuk a kis látómező, amely fontos a szükséges látótávolság érzékelése szempontjából. A 2. táblázat az említett paramétereket hasonlítja össze néhány gyártó adatai alapján.

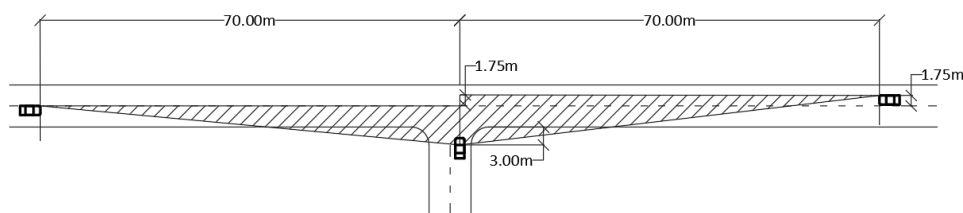
LIDAR technikai paraméterek [2] [5] [6] [7]

2. táblázat

Fejlesztő	termék típusa	LiDAR típusa	Látóterek		Szögfelbontás		Maximum hatótávolság
			Horizontális	Vertikális	Horizontális	Vertikális	
Velodyne	HDL-64E	360°	360°	26,9°	0,08°	~0,4°	120 m
Velodyne	ALFA PUCK	360°	360°	40°	0,2°	0,1°	300 m
Quanergy	M8	360°	360°	20° (+3° - 17°)	0,03-0,2°		150 m
Quanergy	S3-8	SSL	120°	120°	0,03		300 m
Innoviz	InnovizOne	SSL	115°	25°	0,1°	0,1°	250 m
Innoviz	InnovizPro	SSL	73°	20°	0,2°	0,45°	600 m
Hesai	Pandar64	360°	360°	40° (-25°+15°)	0,2° - 0,4°	0,167°	200 m

4. LÁTHATÓSÁG VIZSGÁLAT AUTONÓM JÁRMŰVEK LIDAR ÉRZÉKELŐIVEL

Az előző fejezetben megvizsgált három paraméterre építve vizsgáltuk meg, hogy a magyar Útügyi előírásokban a láthatóságra vonatkozó előírás [8] által meghatározott elindulási látóháromszög (3. ábra) teljes vizsgálatához a LiDAR technikai paraméterei elegendők-e.



3. ábra

Elindulási látóháromszög 50 km/h megengedett sebesség esetén [saját szerkesztés]

4.1. Látótávolságok meghatározása

A gépjármű szeme és a keresztező úton meghatározott látótávolság végpontja közötti szakasz. A távolság derékszögű csatlakozás esetében a befogó hossza (3. táblázat). A rövidebb éle egy kétsávos sávonként 3,5 méter széles úton balra kanyarodás esetén 8,25 m elindulási szituációban és 15,25 m közeledési háromszögre vonatkozóan.

Elindulási látótávolságok a magyar előírások szerint [8]

3. táblázat

Megengedett sebesség [km/h]	30	40	50	60	70	80	90	100
Elindulási látótávolság [m]	30	50	70	85	110	135	170	200
Elindulási látótávolság jelentős teherforgalom esetén [m]					175	210	250	300

A táblázatban megadott leghosszabb befogó 300 méter hosszú. Ez az átfogó mentén több mint 300 méter távolságot jelent a járművezetőtől a látóháromszög legtávolabbi csúcsáig.

4.2. Látómező

A második paramétert szögértékben fejezhető ki ezért másnéven látószög. A látóháromszög oldalai által bezárt szög. Az elindulási helyzetben a járművezető közelebb van a kereszteződéshez, így ebben a helyzetben érdemes vizsgálni a geometriát. A 4. táblázatban láthatjuk a látótávolságokhoz számított látószögeket. A számításhoz ebben az esetben is a 3,5 méteres sávszélességeket vettük alapul.

Látószögek alakulása három méterre az út szélétől, hét méteres útszélesség esetén.

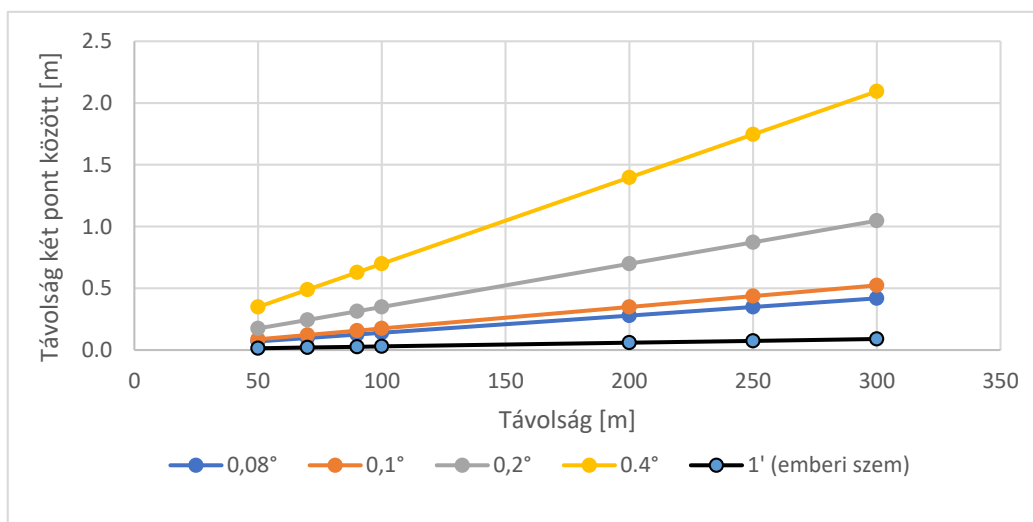
4. táblázat

km/h	látótávolság	Derékszögű becsatlakozás		
		δ_l	δ_r	Σ
30	30	77,8°	74,6°	152,4°
50	70	84,7°	83,3°	168,0°
90	170	87,8°	87,2°	175,0°
100	300	88,8°	88,4°	117,2°

Az összesített értékekből megállapítható, hogy egy SSL érzékelő nem képes a szükséges látómező lefedésére. A tesztjárművekre ezért több LiDAR-t szerelnek.

4.3. Szögfelbontások értékelése

A harmadik szempont a LiDAR-ok felbontási képessége. Ez a jellemző is szögértékben van megadva, és kiszámítható, hogy egyenes vonalú lézertényit feltételezve 100% visszaverődés esetén mekkora pontsűrűséget jelent a távolságok függvényében. A pont sűrűséget jelen esetben két pont közötti távolság megadásával jellemzem a vízszintes és függőleges eltérések miatt, az eredményeket a 4. ábra diagramja mutatja.



4. ábra

Vízszintes felbontóképesség a távolságok függvényében.

Az 50 km/h sebességhez tartozó 70 méteres látótávolságban a 0,1 fokos szögfelbontás 12,2 cm-ként jelent egy-egy visszavert pontot. Mondjuk egy 5 méter hosszú és 1,5 méter magas jármű esetében ez 61-62 pontot jelent, 0,4 fokos felbontás esetén 15-16 pont. Kétszáz méteres távolság esetén ez 5.3 pont, ami már biztosan nem elegendő a jármű osztályozásához.

ÖSSZEFOGLALÁS

A csomópontokban a járművek vagy gyalogosok keresztezik egymás útvonalát. A hagyományos járművezetőnek és az autonóm járműnek pillanatok alatt kell tájékozódnia a forgalmi szabályozásról és a többi közlekedésben résztvevők helyzetéről, valamint megfelelő döntést hozni a tovább-haladásáról. Gyakori az olyan eset, ahol nehéz vagy szinte lehetetlen a kereszteződést a szükséges mértékben belátni, ami a járművezetőket kritikus szituációba kényszeríti. A közlekedési infrastruktúra és csomópont környezetének megfelelő alakításával csökkenthető ez a fajta baleseti kockázat.

A kereszteződések láthatóságának vizsgálatára látóháromszögeket határoznak meg. A háromszög által lehatárolt területen belül elvileg biztosítani kellene a látási akadálymentességet. A gyakorlatban ez általában nem valósul meg. A kutatás egyik célja olyan mérőszámok kidolgozása, amelyek mentén minősíthető az akadályozottság mértéke és elfogadhatósági kritériumok állíthatók fel.

Egy meglévő kereszteződés vizsgálata elvégezhető szemrevételezéssel, kereszteződés alaprajzát kiegészítő felmérésekkel. A lézerszkenneres (LiDAR) felmérési technológia rendkívül részletgazdag pontfelhőt állít elő, ami önmagában is egy három-dimenziós modell. Az eljárás elterjedését eddig lassította a drága műszer és a hosszadalmas feldolgozási idő, de egyre több tanulmány született az alkalmazhatóságára.

Az autonóm járművek fejlesztésének egyik alappillére a LiDAR fejlesztése és a navigálás egy pontfelhős felmérés alapján. Az infrastruktúrával foglalkozó kutatásunk szempontjából két kérdést igyekszünk megválaszolni a lézerszkenneres láthatósági vizsgálatok és az önvezető járművek érzékelése kapcsán. Egyik, hogy vajon a LiDAR érzékelők képesek-e a szükséges távolságban és minőségben vizsgálni a látóteret a kereszteződésekben, a másik, hogy a járművek LiDAR-os felmérései utólagosan felhasználhatók-e a kereszteződések láthatósági vizsgálatára.

Az első kérdésre három szempont figyelembevételével, a távolság, a látómező és a szögfelbontó képesség alapján, a magyar Útügyi előírásokban megfogalmazott követelményeket figyelembe véve a következők a megállapításaink. A maximális látótávolságot azaz SSL típusú LiDAR-ok között a 300 métert meghaladók biztosítani tudják. A látómező lefedettségének szempontjából a 360 fokos vagy több SSL LiDAR használatával elérhető. Viszont a szögfelbontást nagy távolságok vizsgálata esetén is alacsony a figyelembe vett paraméterek alapján.

A második kérdésre a válaszuk pozitív, mert ebben az esetben a jármű bejárhatja a kereszteződést teljesen, így a rövidebb távolságoknak köszönhetően nagyobb lesz a pontsűrűség. A 0.1 fokos szögfelbontás 5 méteres távolságban centiméteres pontsűrűséget jelent.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk a Tématerületi Kiválósági Program TUDFO/51757/2019/ITM azonosítószámú pályázata „AUTONÓM KÖZLEKEDÉSI RENDSZEREK KIVÁLÓSÁGI KÖZPONT LÉTREHOZÁSA A SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEMEN” projektjének támogatásával készült.

IRODALOM

1. SCHOETTLE, B., 2017. Sensor fusion: A comparison of sensing capabilities of human drivers and highly automated vehicles. Ann Arbor: University of Michigan <http://umich.edu/~umtriswt/PDF/SWT-2017-12.pdf>
2. HESAI, 2019: Pandar64 64-Channel Mechanical LiDAR, Hesai Phptpnics Technology Co., Ltd https://web2019.azureedge.net/uploads/Pandar64_Brochure.pdf (2020.05.23)
3. STRAUSS, M., CARNAHAN, J., 2009. Distance Estimation Error in a Roadway Setting. Police Journal Vol 8. Issue 3. <https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/policej182&div=28&id=&page=>
4. NZTA New Zealand Transport Agency, 2012. Traffic control devices manual Part 9 Level crossings. Second edition. pp. 84 <https://www.nzta.govt.nz/resources/traffic-control-devices-manual/part-09-level-crossings/>
5. VELODYNE LIDAR, 2019 <https://velodynelidar.com/downloads/> [05.29.2019]
6. QUANERGY, 2019 <https://quanergy.com/> [05.29.2019]
7. INNOVIZ, 2020 <https://innoviz.tech/innovizone> [05.23.2020]
8. MAÚT Magyar Út- és Vasúti társaság, 2004, Szintbeli csomópontok méretezése és tervezése, e-UT 03.03.21 Előírás, Budapest <https://ume.kozut.hu/p/utugyi-muszaki-eloirasok>