

Környezetérzékelők tesztelésének jelentősége magasan automatizált és autonóm járművek számára

Lengyel Henrietta*, Szalay Zsolt.**

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépjárműtechnológia Tanszék, Budapest (e-mail: henrietta.lengyel@gjt.bme.hu).

** Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépjárműtechnológia Tanszék, Budapest (e-mail: zsolt.szalay@gjt.bme.hu).

Absztrakt: A magasan automatizált és autonóm járművek elterjedésével, megjelenésével a különböző biztonsági funkciók és környezetérzékelő rendszerek használata egyre jelentősebbé válik, különös tekintettel a tesztelésükre. A járművekben alkalmazott rendszerek lényege, hogy támogatják a vezetőket és bizonyos mozdulatokban helyettesítik őket. Az autonóm funkciók bonyolultsága miatt nagyobb hangsúlyt kell fektetni a vezetés-támogató rendszerek (ADAS) tesztjeire és azok biztonságos elvégzésére. A tesztek végrehajtását az egymásra épülő tesztfázisok teszik lehetővé, amelyek segítik a fejlesztett rendszerek validálási folyamatát. A természetes és mesterséges tényezők különböző problémákat vethetnek fel a környezetérzékelő rendszerek számára (időjárási körülmények, takarások, fényviszonyok, vandálkodások). A cikk példákon keresztül mutatja be, hogy milyen szélsőséges tényezők, szempontok és a közutakon megtalálható rendellenességek miatt van szükség az érzékelő rendszerek tesztelésére, majd validálására.

1. BEVEZETÉS

Az új, kényelmi és biztonsági funkciók megjelenéséhez folyamatos fejlesztés zajlik a járműiparban. Az autonóm járművek alapvető céljai, hogy csökkentsék a környezetterhelést, a károsanyagkibocsátást és a balesetek számát. Az automatizált járműfunkciók jelentős szerepet játszanak az említett tényezők redukálásában és hatékonyabbak, mint az emberi vezetők. Az infrastruktúra fejlesztésével és a járművek összekapcsolásával további előnyök érhetők el, például a forgalomnagyság és az utazási idő csökkentése.

A járműveket az Society of Automotive Engineers (SAE) az automatizáltság különböző szintjei szerint osztályozza, 0-tól 5-ig. Az első szint azt jelenti, hogy nem rendelkezik az adott jármű semmilyen automatizáltsági fokkal, az ötös pedig azt, hogy már képes teljesen magától közlekedni. Az autonóm szintek növekedésével és a funkciók bővülésével szükség van a rétegek vezérlésének kialakítására, amely folyamatos ellenőrzéseket igényel. Össze kell tudni hangolni a környezetérzékeléstől a pályatervezésig az egész rendszer működését. (Á. Domina, V. Tihanyi) Az új technológiák miatt elengedhetetlen létrehozni új tesztelési és validálási módszereket. (R. Hoeger, Z. Zeng, A. Hoess)

Az új technológiák bevezetése és az autonóm járművek megjelenése, tesztelése jogi kérdéseket is felvet. Fontos, hogy az országok között szülessen egy egységes döntés, az új közlekedési mód és a hozzátartozó szabályrendszer felett. A bécsi egyezmény tartalmazza, hogy közúti forgalomban a járművet csak gépjárművezető vezetheti. Folyamatos egyeztetések zajlanak, hogy hogyan lehetne fejleszteni a jogi

megállapodásokat az új infrastruktúra megjelenéséhez. A másik jelentősebb kérdés, amelyre még nem született megoldás, az a felelősség eldöntése egy autonóm jármű okozta baleset esetén. Javaslatokon már sokan gondolkodtak, amelyek szerint csoportosíthatók a döntések, azonban végleges verziót eddig nem állapítottak meg. (C. Bartolini, T. Tettamanti, I. Varga)

A jogi kérdések mellett maga a rendszer működése sok nehézséget okoz. A környezetérzékelés az emberek számára sokszor nehéz, hiszen rengeteg befolyásoló tényező van az utakon. Egy bonyolult rendszert hangol össze az emberi agy, amely hallás, látás és tapintás segítségével tájékozódik a környezetről, majd ad parancsokat a gépjárműnek. A járművezetők száma folyamatosan csökkeni fog az önvezető járművek megjelenésével. Ez azt jelenti, hogy minden emberi érzékszervet egy-egy járműfunkcióval kell helyettesíteni úgy, hogy sokkal jobban teljesítsen, mint az ember. Ezért van szükség a tesztekre és a validálási módszerekre.

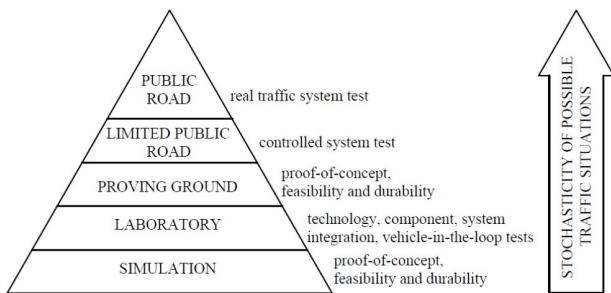
Többféle tesztet különböztethetünk meg. Bizonyos kezdeti tesztek, mint például a szimulációs környezetben történők, olcsóbbak, biztonságosabbak és gyorsabbak, könnyebben adaptálhatók a valódi környezetben. Egy rendszer törvényes jóváhagyásában a következő képen látható piramis nyújt segítséget, amely bemutatja a tesztek különböző formáit. (1. ábra) (Zs. Szalay, Á. Nyerges, Z. Hamar, M. Hesz)

2. TESZTELÉS ÉS VALIDÁLÁS MENETE

2.1 Tesztelési folyamat bemutatása

Az alacsonyabb automatizáltsági szintekkel rendelkező járműveken végrehajtott járműdinamikai tesztek már nem

elegendők a magasan automatizált és a majd megjelenő autonóm járművek számára. Ahhoz, hogy az új funkciókat törvényesen jóváhagyják, sokkal összetettebbekre és átfogóbbakra van szükség, hogy biztonságosabbak legyenek ezek az új technológiák. A hagyományos járműveknél három fő tényezőt lehetett megvizsgálni. A járművet, az emberi vezetőt valamint a jármű és a talaj kapcsolatát. Jelenleg a fejlesztések alatt álló hálózatba kapcsolt gépjárműveknél szükséges a környezetérzékelés, parancs, végrehajtó és döntéshozatal vezérlési réteg, amelyeket alapos vizsgálat alá vetni. A nagy különbség az eddig rendszerekkel szemben, hogy a gépi algoritmusnak köszönhetően különböző helyzet állhat elő egy tesztelés során, amelynél vizsgálni kell a döntéshozatal menetét és eredményét. A tesztelés és jóváhagyás 5 szintje fokozatosan mutatja be a rendszerre jellemző sztochaszticitást. (Fig. 1) (Á. Nyerges, Zs. Szalay)



ábra Tesztelési és validálási piramis

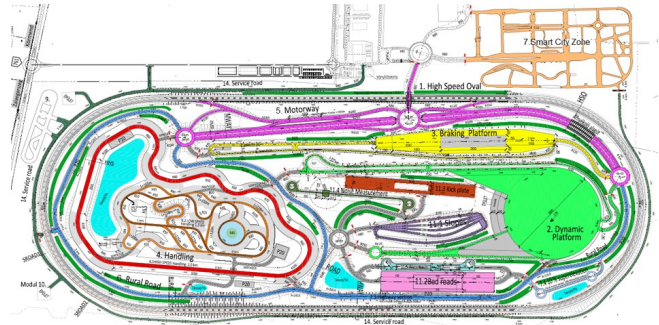
Az első lépés, egy rendszer validálása felé a szimulációs tesztek elvégzése. A szimuláció egy jól meghatározott matematikai modellezést jelent, amely közeli eredményeket képes adni a valóságban lemért értékekhez. Olcsón megvalósítható, könnyebb megértést kölcsönöz egy-egy rendszer működéséhez. Egy teszt előkészítéséhez és megtervezéséhez biztosítja, hogy több szcenáriót (Q. Xia, J. Duan, F. Gao, Q. Hu, Y. He) is létre lehessen hozni, vagy akár többször kipróbálni. A következő fázis a laboratóriumi tesztek végrehajtása, amely lehetővé teszi a „vehicle-in-the-loop” (jármű a hurokban) (T. Tettamanti, M. Szalai, S. Vass, V. Tihanyi), a létező rendszerek külön-külön lévő elemeinek vagy akár a teljes rendszernek a vizsgálatát. Zárt környezetben lévő tesztek lehetőséget nyújtanak a tesztpályákon többször végrehajtani, amely biztonságos vizsgálatot nyújt a fejlesztések kipróbálására. Következő lépés, a közúti forgalomtól elzárt környezetben történő limitált közúti tesztek végrehajtása, ahol az egész rendszert lehet vizsgálni. Miután minden eddigi folyamaton végigment a jármű, következik a közúti teszt. Magyarországon erre is biztosítottak útszakaszt, ahol autonóm járműveket tudnak tesztelni a fejlesztők.

A cikkben a tesztpéldák egy része a ZalaZONE tesztpályán (2. ábra) készültek, amelyek segítik bebizonyítani a környezetérzékelés tesztelésének jelentőségét.

2.2 Tesztelési lehetőségek bemutatása

A hagyományos rendszerek tesztelésére világszerte több tesztpálya áll rendelkezésre a fejlesztők számára. Az utóbbi években kezdtek el azokat a típusú pályákat építeni, amelyek a magasan automatizált és autonóm járművek számára alkalmas lehet az összes funkció kipróbálására.

2016-ban kezdtek építeni Magyarország nyugati részén, az autonóm járművek tesztelésére alkalmas tesztpályát. (2. ábra) Területe 250 hektár, mely több különböző sebesség típusú, felületű platformmal rendelkezik. Az egész pálya területén 5G hálózat működik, amely lehetővé teszi az infrastruktúra és a jármű közötti kommunikáció tesztelését. (M. A. Raposo, B. Ciuffo, M. Makridis, Ch. Thiel)



ábra ZalaZONE tesztpálya

Egyelőre nagy sebességű szakaszokkal, dinamikai felülettel és egy intelligens városrészrel rendelkezik a tesztpálya, de folyamatosan zajlanak az építkezések. Az eddig elkészült felületeken már több fejlesztő végzett mérést automatikus sebességtartó rendszerekkel (ACC). A környezetérzékelő funkciók tesztelésére a legalkalmasabb az intelligens városrész, amely a Zcity nevet kapta. Ez a terület rendelkezik valódi épületekre hasonlító szerkezetekkel, útfestésekkel, jelzőtáblákkal, így minden funkció többféleképpen tesztelhető.

Fontos szempont, hogy minden végrehajtott tesztek és mérések megfeleljenek a mindenkor hatályos jogszabályi követelményeknek, hiszen csak így lehet a rendszereket validálni, verifikálni és jóváhagyni, hogy használatba kerüljenek a közutakon.

3. SZENZOROK BEMUTATÁSA

A jelenlegi cikkben a főbb környezetérzékelési szenzorok gyengeségein keresztül kerül bemutatásra, hogy milyen nagy jelentősége van a tesztelésüknek közlekedésbiztonsági szempontból. Az érzékelők segítséget nyújtanak és információk gyűjtenek a jármű számára, a közeli és távoli környezetéből. Minden szenzornak megvan a maga sajátos tulajdonsága, előnyei és hátrányai egyaránt. Vannak olyanok, amelyek jobban vagy kevésbé használható bizonyos időjárási és látási viszonyok mellett. A fények intenzitása, élessége szintén nagy hatással van a szenzorok működésére. Az alábbi táblázat tartalmazza a főbb érzékelőket a járműben, azok tulajdonságaival együtt. A „+” jel azt jelzi, hogy egy érzékelő jobban teljesít adott területen, a „-” azt, hogy kevésbé használható adott tulajdonságra nézve.

1. táblázat A környezetérzékelők előnyei, hátrányai

	RADAR	LIDAR	Camera
Időjárás	+	-	-
Fényviszony	+	+	-
Sár a szenzorokon	+	-	-
Sebesség detektálás	+	-	-
Távolságmérés	+	-	-
Mérési tartomány	+	-	-
Objektum detektálás	+	+	-
Gyalogos detektálás	-	-	+

A kamerák a leggyakrabban használt eszközök az utakon található közlekedési táblák felismerésére. A szélvédő mögött található a járművekben. A környezeti hatások nagy befolyással vannak a kamerákra. Képes gyalogost és mozgó tárgyakat detektálni, azonban mind fényre, mind időjárásra érzékenyek, ezért mindenképp szükség van más szenzorok használatára. A szenzorfüzión alkalmazása nagy jelentőséggel bír a környezetérzékelés szempontjából.

A második leggyakoribb érzékelő szenzor a LIDAR, amely fény segítségével határozza meg a jármű és a tárgy közötti távolságot. A LIDAR pontfelhőt képez maga körül egy folyamatosan forgó tükör használatával. A rendszer képes 2D-ben meghatározni a távolságot, majd egy 3D környezetet alkot, amely által információt nyer. Lézerszkennerek segítségével a statikus objektumok könnyebben felismerhetők, mint amelyek mozognak. Két módszer létezik a lézeres letapogatás távolságának meghatározására - az első módszer, a felvétel és a visszavert sugarak közötti idő mérése. A második, a vett és a visszavert fény közötti fáziseltolás mérése. A lézerszkennerek előnyei: - a mérési tartomány, a mérési pontosság és a mérési sebesség nagysága. A LIDAR nem tudja megmérni az átlátszó tárgyakat, például az üvegfelület anomáliákat okozhat. (D. Mongus, B. Zalik)

A harmadik lehetőség a környezetérzékelésre a RADAR, amelyet eredetileg katonai célokra alkalmaztak, és később tértek át a járműipari használatra. A RADAR nagy segítséget nyújt a tárgyak detektálásában, mivel kevésbé zavarják a környezeti hatások. Képes a gyalogosok, más járművek és egyéb objektumok érzékelésére különböző távolságokon. Jelentősen befolyásolja, hogy az érzékelni kívánt tárgy milyen szögben és helyzetben található meg az útesten vagy a mellett. (M. Taraba, J. Adamec, M. Danko, P. Drgona)

4. TESZTPÉLDÁK BEMUTATÁSA ÉS EREDMÉNYEK

A szenzorok fő célja, hogy érzékeljék a környezetben történő mozgásokat és információkat gyűjtsenek róla. A megfelelő inputokat követően a parancsréteg segítségével adnak utasítást a jármű részére az útvonal megtervezésére.

A környezetérzékelők a környezeti hatásokra érzékenyek, ezért jelentősebb figyelmet kell szentelni a tesztelésükre. A következő példák, kísérletek rávilágítanak arra, hogy szükséges a gyengeségüket figyelembe venni, majd a tesztek ezeket igazítani, így a végén egy kész, biztonságos rendszert kaphat a fejlesztő.

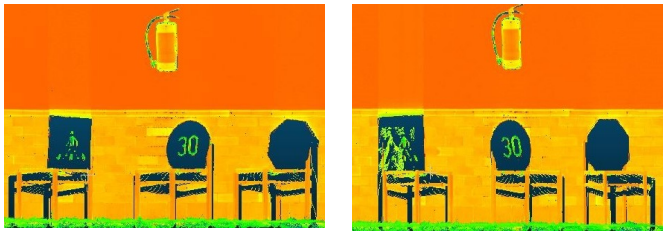
A kamerákat már a szimulációs folyamatban lehetőség van több tényezővel letesztelni. A szoftvereket úgy fejlesztették, hogy tudjanak különböző vezetéstámogató rendszereket kipróbálni. A közlekedési jelzéseket érzékelő rendszer jó példa arra, mennyire érzékeny egy kamera alapú felismerő technika. A 3. ábrán egy szimulációs programban előkészített mérés látható, amelyet sikerült megvalósítani a ZalaZONE Smart city tesztpálya részén 2019. márciusban. A szoftver rengeteg lehetőséget biztosít a táblák torzítására (sár, karcolás, hó), ezzel is nehezítve a felismerő rendszerek helyzetét. Jelentős különbséget vehetünk észre a környezetek (szimulációs, valós) kinézetében, amely torzíthatja a mérés eredményeit. A fent említett példák alapján, előkészítés és tervkészítés a szimulációs folyamat elengedhetetlen lépése egy új funkció fejlesztésének. Bizonyítja, hogy mindenképp szükség van a tesztekre valós környezetben, hiszen nagyon sok olyan szituáció állhat elő a valós környezetben, amely újdonságot mutat a kamera alapú rendszereknek.



ábra Szimulációs és valós teszt összehasonlítása

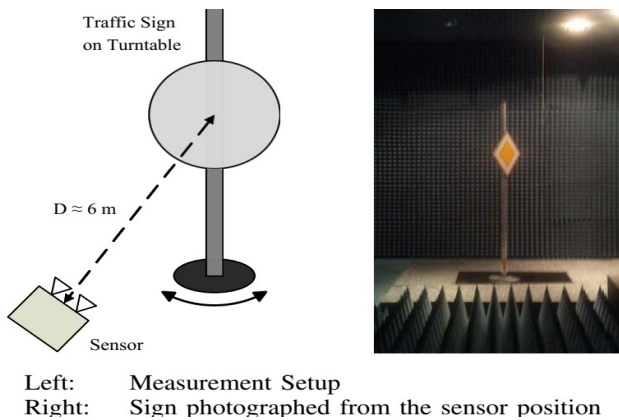
A következő szenzor a LIDAR, amely önmagában elegendő lenne a környezet felismerésére, de a gyengeségei miatt szükség van egyéb szenzor kiegészítésére. A 4. ábrán látható példa bemutatja, hogy egy közlekedési tábla nyugalmi helyzetben történő felismerésére, ez a nagy pontosságú lézerszkennerek nem alkalmas. A jelzések egy székre voltak elhelyezve 3 méterre a LIDAR mérőegységtől. 45 fokként készültek a képek, hogy minden irányból megvizsgálhatók legyenek. A három tábla közül, a legnagyobb fényvisszaverési képességgel a gyalogos-átkelőhely rendelkezett, majd a 30-as sebességhatároló és a STOP jelzőtábla. A LIDAR hátrányát jelen példa szerint a fényvisszaverés magas értéke okozza, egy kamerával történő kiegészítéssel nagy segítséget nyújthat az érzékelésben. A felvételek megmutatják, hogy mindenképp szükség van különböző fényviszonyok és körülmények között tesztelni a LIDAR-okat, majd kiértékelni az eredményeket. Így

kaphatunk egy biztonságos rendszert, amely fűzióba használható a másik kettő szenzorral.



ábra LIDAR képalkotás

A RADAR esetében a legnehezebben felismerhető tárgy a közlekedési jelzőtáblák. Előző kutatások során próbálkoztak a szenzor segítségével felismerni a jelzéseket, de az eredmények nem alkalmasak önálló érzékelésre. A többi szenzorral használva a detektálásban jelentős segítséget nyújthat. Az előző érzékelőkhöz hasonlóan, a fényvisszaverési jellemzők miatt problémákat okozhatnak a felismerésében. A rendszert mindenképpen tesztelni kell, mielőtt a forgalomban használják őket. (K. Werber, M. Barjenbruch, J. Klappstein, J. Dickmann, Ch. Waldschmidt)



ábra RADAR képalkotás

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatott példák alapján egyértelmű következtetést lehet levonni, hogy több szempontból szükség van a környezetérzékelők tesztelésére. Első szempontból, hogy fény derüljön arra, hogy a gyengeségei alapján minden körülmények között helytállnak és biztonságosan tudnak működni valós forgalmi helyzetben. A másik szempont, hogy szenzorfüziót használva még több lehetőség nyílik az érzékelők képességének kiaknázására. A kevésbé ismertek bővítik a lehetőségeket, amelyek további döntéshozatali probléma elé állítják a fejlesztőket, ezért mindenképpen tesztek és validálási folyamatok alá kell vetni a rendszereket.

ACKNOWLEDGEMENT

The project has been supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund. EFOP-3.6.2-16-2017-00002.

REFERENCES

- R. Hoeger, Z. Zeng, A. Hoess, (2011) HAVEit- The future of driving, *Final Report, Continental Automotive GmbH and partners*
- Zs. Szalay, Á. Nyerges, Z. Hamar, M. Hesz (2017). Technical Specification Methodology for an Automotive Proving Ground Dedicated to Connected and Automated Vehicles, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*
- Á. Nyerges, Zs. Szalay A New Approach for the Testing and Validation of Connected and Automated Vehicles, *Advanced Manufacturing and Repairing Technologies in Vehicle Industry – Visegrád, 2017*
- C. Bartolini, T. Tettamanti, I. Varga.: Critical features of autonomous road transport from the perspective of technological regulation and law, EWGT (2017)
- Á. Domina, V. Tihanyi, (2019), Comparison of path following controllers for autonomous vehicles, *SAMI 2019 IEEE 17th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics*
- T. Tettamanti, M. Szalai, S. Vass, V. Tihanyi, Vehicle-in-the-loop test environment for autonomous driving with microscopic traffic simulation, *2018 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES)*
- Q. Xia, J. Duan, F. Gao, Q. Hu, Y. He, (2018), Test scenario design for intelligent driving system ensuring coverage and effectiveness, *International Journal of Automotive Technology, Vol. 19, No. 4, pp. 751–758*
- M. A. Raposo, B. Ciuffo, M. Makridis, Ch. Thiel, From Connected Vehicles to a Connected, Coordinated and Automated Road Transport (C2ART) system, *2017 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS)*
- D. Mongus, B. Zalik (2015), Detection of ground in point-clouds generated from stereo-pair images, *Informatica 39.3*
- H. Gonzalez, B. Riveiro, J. Armesto, P. Arias, (2011) Evaluation of road signs using radiometric information from laser scanning data, *2011 Proceedings of the 28th ISARC Pages 1007-1012*
- M. Taraba, J. Adamec, M. Danko, P. Drgona: Utilization of modern sensors in autonomous vehicles, *20th EURO Working Group on Transportation Meeting, 978-1-5386-4759-2/18/\$31.00 ©2018 IEEE*
- K. Werber, M. Barjenbruch, J. Klappstein, J. Dickmann, Ch. Waldschmidt: How do Traffic Signs look like in Radar?, *Proceedings of the 44th European Microwave Conference, 2014*

Appendix A. FIRST APPENDIX

Appendix B. SECOND APPENDIX