



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

HABILITÁCIÓS TÉZISFÜZET

DR BAKUCZ PÉTER PÁL
EGYETEMI DOCENS

Az önvezető autózás megbízhatóságának modellezése

BIZTONSÁGTUDOMÁNYI
DOKTORI ISKOLA

Budapest, 2025. 04. 07.

Tartalomjegyzék

I. A kutatás előzményei	3
II. Új tudományos eredmények	18
1. Tézis	18
2. Tézis	20
III. A kutatás és a bemutatott eredmények hatása, visszhangja	28
IV. Irodalmi hivatkozások listája	30

I. A kutatás előzményei

Az együttműködő, nagymértékben automatizált vezetési funkciók ($SAE \geq 3$. szint) validálása és verifikálása, illetve megbízhatóságának bemutatása nagy kihívást jelent a hazai és nemzetközi autóiipari fejlesztések számára. A jelenlegi tesztelési módszerek, mint például a szimuláció, a próbapályán végzett kísérletek és a közúti forgalomban végzett tesztek, amelyeket a vezetőtámogató rendszerek validálására és verifikálására használnak, gazdaságosan csak rendkívül korlátozottan alkalmasak a nagymértékben automatizált vezetési funkciókhoz, ahol a jármű mozgása részben vagy egészben externális humán kontroll műveletek nélkül realizálódik.

A validálás és verifikálás az önvezető autózás hardver (H), szoftver (S) és algoritmikus (A), röviden HSA összetevőinek vizsgálatát jelenti és egy valószínűséget, a „megbízhatóságot” (Zuverlässigkeit, reliability) határoz meg. A valószínűség szintjét az autóiiparban a megbízó definiálja, s a meghatározása, illetve annak módszertana egy konszenzus

eredménye a megbízó (autógyár) és a fejlesztő (beszállító) között.

A közúti forgalomban történő validálás és verifikálás az erőfeszítéseket és a bonyolultságot tekintve messze meghaladná az időben és gazdaságilag indokolt kereteket (pl. egy önvezető funkció teszteléséhez hozzávetőlegesen kb. 150 millió km megtétele lenne szükséges, ami napi 2000 km maximális tesztfutásteljesítményt alapul véve, gépjárművenként kb. 200 évet jelent, ami minazonáltal még a tesztautók számának emelésével is belátható, hogy ilyen értékek a mérnöki gyakorlatban nem jöhetnek szóba (nem is beszélve a peta-, és exabyte adatmennyiségről azok kezeléséről és a digitális feldolgozórendszer energiafelhasználásról)).

Napjainkra az autóiipari fejlesztések egyetértően tekintetben, hogy az autonóm, illetve nagymértékben automatizált járművek piacra kerüléséhez (release-éhez) új, általános módszerek kidolgozására van szükség, az eddig alkalmazott validációs és verifikációs eljárások csak korlátozott keretek között vezettek eredményre. Ennélfogva, az autógyárak a megbízhatóság korszerű modellezése alapján újszerű eljárások

bevezetése által kísérlük meg a „reliability” komplexitásának lefedését.

Jelen habilitációs kutatásomban beszámolok az ilyen vezetési függvények validálására és verifikálásra szolgáló módszer új megoldásának bemutatásáról, a fuzzy hibafa eljárás bevezetése által. Ehelyütt a validálás és verifikálás valós időben és beágyazott környezetben realizálódik, melyek során a hibafa eljárás egyes részeinek fuzzy alapú átfogalmazására van szükség (ld. 1 tézis).

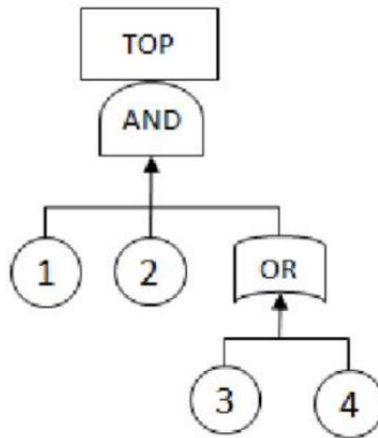
A megbízhatóság bizonyítására a fuzzy hibafa eljáráson kívül egy kismintakörnyezet alkalmazása is hozzájárulhat, ahol a numerikus kísérletek adatigényét, egyszerű módszerekkel kismintákkal, modellautókkal és modellszenzorokkal biztosítani lehet, amiáltal a kimagasló, mai gazdasági megfontolásokkal nem végrehajtható valós kísérlet számottevően leegyszerűsödik (ld. 2.tézis)

Az autonóm közlekedési rendszerek HSA megbízhatósága matematikailag legfőképpen egy adott forgalmi környezet „tanulhatóságát” jelenti. Minél megbízhatóbb az HSA környezet, annál könnyebben tanulható az adott forgalmi csomópont, a környezet annál egyszerűben adhat választ a

közlekedési rendszerben előforduló anomáliákra, hirtelen eseményekre. Az önvezető autózás jövője, óvatos becslések szerint is ezen tanulhatóság kezelhetőségét fogja jelenteni, mivel a HSA igen fontos része a mesterséges intelligencia által vezérelt objektumdetektálási, valósidejű folyamat.

A tanulhatóság meghatározásának eszköze, az adott rendszer megbízhatóságának metrizálása, a hibafaelemzés (FTA, Fault Tree Analysis). Az FTA széles körben használt módszer az autonóm rendszerek hibalogikájának elemzésére és az általános megbízhatóság kiszámítására.

Az FTA-ban részt vevő alapvető koncepció a közlekedési fizikai rendszer lefordítása egy strukturált logikai diagramra, amelyben az alapvető események, basic eventek (okok) bizonyos logikai kapukon átívelő sorozata egy meghatározott TOP eseményhez, a rendszer megbízhatóságához vezet, amely a faszerkezet csúcspontjaként tekinthetünk.



1. ábra. Klasszikus hibafaelemzés, FTA (Fault Tree Analysis). Az alapesemények 1-2-3-4 és a közbenső események logikai kapukon (AND, OR) haladnak át egy fa topológiát használva, amelynek eredményeként egy csúcseseményt (TOP) kapunk, amely a rendszer megbízhatóságaként azonosítható.

Az FTA alapvetően ok-okozati elemzés és a rendszer meghibásodását egy vagy több alacsonyabb szintű hibára vezeti vissza. Valójában az FTA egy deduktív eljárás mind a műszaki rendszer, mind az emberi hibák kombinációinak meghatározására, amelyek meghatározott nemkívánatos események bekövetkezését eredményezheti a rendszer

szintjén. Az autonóm közlekedésben a logikai diagramot olyan esemény- és logikai szimbólumok segítségével építik fel, amelyek levezetik a közlekedési rendszer hibalogikáját és olyan formában ábrázolják, amely ideális a vezetők, tervezők és üzemeltetők számára történő kommunikációra. Ha az alapeseményekhez (pl. objektumdetektálás) rendelkezésre állnak a hibaarány és más szükséges adatok, a hibafaelemzés becsléseket ad a rendszer megbízhatóságának valószínűségére vonatkozóan.

A hagyományos FTA alkalmazásának az önvezető autózásban azonban a korábban említettek alapján van néhány hiányossága:

1. az alapesemények (basic eventek) bizonytalanok és nem jellemezhetők egy ún. kiesési valószínűséggel,
2. bizonytalanság terjedésének figyelembevétele,
3. $SAE \geq 3$. szint esetén (még az ember a felelős, de már teljes az önvezető rendszer) az emberi hiba integrálása a hibalogikai modellbe,
4. rendszerdinamika, időfüggőség modellezhetőségének hiánya, és a

5. a TOP esemény, a rendszer megbízhatóságának beágyazott, valósidejű módon való meghatározási lehetőségének hiánya.

A hagyományos FTA-ban a meghibásodási valószínűségeket egyetlen becsült értéknek, vagy éles értéknek tekintik. Az elemi események, pl az önvezető jármű hardveralkatrészeinek meghibásodási aránya alapján, vagy az önvezető jármű forgalmi terhelésének tervezésében pl. egy *„vaddal való találkozás alsóbbrendű úton”* valószínűségét azonban nehéz megbecsülni a megfelelő adatok bizonytalansága, hiánya vagy az események definíciójának nem egzakt jellemzői miatt. Ez különösen az előzetes tervezési fázisokban kulcsfontosságú, amikor a HSA elemek részleteit még nem lehetett meghatározni, így a pontos meghibásodási arányt nem lehetett pontosan tudni, főleg a szoftver és az algoritmus elemeire. Az önvezető (elősorban német nyelvterületen) irodalomban gyakran említett rendszer az „Aldi bevásárlózacskó” esemény, amikor az önvezető autónak az út szélén egzaktul meg kell határoznia, hogy egy „Aldi bevásárlózacskó” található, vagy egy pl. gyermek áll, aki a labdája után igyekszik. Ebben az esetben a detektálás elemi fontosságú, s adott esetben a

másodperc töredéke alatt a „vészfék” funkciót (emergency break) kell aktiválni ha gyermeket, és a továbbhaladást ha az „Aldi zacskót” azonosított az önvezető HSA rendszer.

Általános esetben, a gépjárműiparban a pontos adatok hiányában a helyszíni szakértők, pl. tervezők, üzemeltetők vagy személyzet tapasztalatai hatékony adatbázist biztosíthatnak a szükséges adatok (meghibásodási arány és valószínűség) becslésére. Nemígy az önvezetésben, ahol a feladat újszerűsége még a know-how szintjén sem tesz lehetővé tapasztalati értékeket. A nem megfelelő adatok ennél fogva megnehezítik a valószínűség objektív módon történő meghatározását.

Mindazonáltal a közlekedési rendszert befolyásoló egyéb paraméterek rendkívül bizonytalanok: a szoftveres feldolgozási lánc során lekötött rendszerelemek bizonytalan korrelációval rendelkeznek.

Jelen habilitációs kutatásomban állítom, hogy a bizonytalanság és az önvezető autózás megbízhatóságának jellemzésére kezelésére szükséges un. fuzzyfikált adat-, és matematikai műveleti struktúrákat használni. A homológikus (fuzzy nélküli) eredmények nem tudják megmutatni a valós

rendszerműveletek lényegi beállítását. Az autóiparban is széles körben alkalmazott kifejezés a „fuzzy”, a matematikai „fuzzy halmaz”-ból származik. A fuzzy halmaz elemei nem feltétlenül tartoznak biztosan a halmazba, hanem csak fokozatosan ún. hozzátartozási függvény (membership function) által.

Például egy adott objektumdetekciós algoritmust támogató Fourier Transzformáció esetében a fuzzy halmaz definiálása a következő lehet:

- nagyon kevés spektrumvonal
- kevés spektrumvonal,
- sok spektrumvonal és
- meglehetősen sok spektrumvonal

kifejezések alkotják a fuzzy halmazt az események detektálási valószínűségének leírására.

Az autóipari kutatásokban innovatív módon a hagyományos FTA korlátozásainak leküzdésére a fuzzy halmazelmélet alapú FTA-t javasoltam (FFTA $\rightarrow$ fuzzy FTA), s amelyet számos szabadalom formájában levédettem és az ISO 26262 szabvány módosítását is elindítottam a fuzzy FTA kiterjesztésével.

Másik példaként az önvezető autózásban széles körben alkalmazott deep learning alapú objektumdetektálás a megfigyelt „input-output” lista analitikus, heurisztikus elemein és a mesterséges intelligencia algoritmus tanulási folyamatának heurisztikus ismeretein alapul. A heurisztikus elemek a deep learning programozók által végzett ellenőrzés során különböző formában szerzett objektumdetektálási megfigyelések, pl. alagútba való behaladás, külső hőmérséklet, vagy optikai elemek, mint például színek, mentőkocsi hangja vagy füst („öreg” diesel teherautó emelkedően halad). Gyakran azonban nem egzakt paraméterek is előfordulnak, amelyek általában csak minőségi mértékek vagy nyelvi változók formájában fejezhetők ki, mint például "kevés", "közepes" vagy "sok". Valójában, a hagyományos matematikai módszerek nem tudják hatékonyan kezelni a természetes nyelvi kifejezéseket, mivel azok a deep learning modellben is bizonytalanok.

A fuzzy FTA fontosságának további összetevője, hogy a hagyományos FTA-ban a figyelembe vett alapvető események (basic eventek) általában a hardver meghibásodáshoz kapcsolódnak. Egy nagymértékben automatizált rendszerben

azonban még mindig az ember a rendszer kulcsfontosságú eleme. Lee et al. szerint az autóiparban az emberi komponens felelős a meghibásodások 80-90 %-ért. Az emberi teljesítmény kiszámíthatatlansága, valamint az algoritmikus rendszerjelenségek bizonytalansága miatt az ember-gép rendszerben az alapvető események két kategóriába sorolhatók:

1. az emberrel kapcsolatos szubjektív események és a
2. valószínűségi objektív események.

Így a hardverhibák valószínűségi becslésének és az emberi teljesítmény szubjektív értékelésének integrálása a hibrid rendszer elemzésének fő szempontja. Valójában, a hagyományos FTA-ban használt éles megközelítés nem képes közvetíteni az emberi teljesítmény pontatlanságát vagy homályos jellegét a rendszer modellezésében.

A fuzzy FTA-val leküzdhető ezen kívül a körülmény, hogy a hagyományos FTA nem teszi lehetővé az alapesemény valószínűségének modellezése során, hogy a valószínűségi értékekhez bizonytalansági fokot rendeljenek. Továbbá nem teszi lehetővé a bizonytalanság, a valószínűség és a elérhetőség (availability) különböző szempontjainak egyidejű

kezelését sem. Még a legkifinomultabb, legpontosabb és legjobban felépített kvantitatív modell is félrevezető eredményeket adhat, ha a bizonytalanságokat nem kezelik korrekt szinten.

Ezért a fuzzy FTA-ban új módszertant kellett kidolgozni az önvezető rendszerek HSA meghibásodási adatai szubjektivitásának és pontatlanságának megragadására.

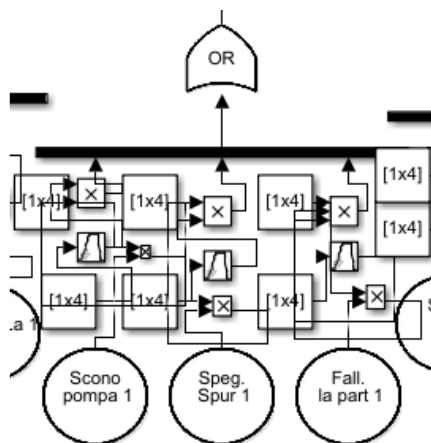
Az önvezető autózásban a fuzzy hozzátartozást nem kifejezések formájában, hanem analitikus függvények (membership function) felhasználásával tekintjük, s meghatározását az adott környezethez illően adaptív módon, valós időben határozzuk meg. Azaz az illető valószínűség hozzátartozási függvény szerinti eloaztlását (vagy tapasztalati sűrűségfüggvényét) értelmezzük.

A fuzzy FTA szükségességét a természettudományokban 1994-ben Kuznetsov N.Y. mutatta be, mindazonáltal az általános műszaki szempontoknak megfelelő fuzzy FTA szinte kizárólag a nukleáris orvostudományi kérdésekre koncentrált. Többek között a Palermói Egyetem Nukleáris Mérnöki Csoportja egy nyílt forráskódú Treezzy nevű szoftvert tett közzé, ahol a fa csúcseemény megbízhatóságára vonatkozó

összes eljárást egy szoftverrendszerbe kódolták [Casamirra, M., Castiglia, F., Giardina, M., Tomarchio, E. 2014: Az Röntgen besugárzás potenciális expozíciójának biztonsági elemzése Fuzzy Fault Tree segítségével [Safety analysis of potential exposure in medical irradiation plants using Fuzzy Fault Tree]. Palermói Egyetem, Nukleáris mérnöki tanszék. 2014].

A Treezzy a klasszikus FTA „cut set” módszerét alkalmazza, majd ugyanezt a trapéz alakú hozzátartozási függvényekkel rendelkező rendszert a fuzzy FTA segítségével határozza meg. A Röntgenorvosi alkalmazások sikere a Treezzy alapján jelentős argumentációt jelentett az autóiparban is, s az önvezető autózás megbízhatóságának fejlesztésében intenzív kutatást indított el.

Jelen tézisfüzetben eredményeiről két tézispontban számolok be.



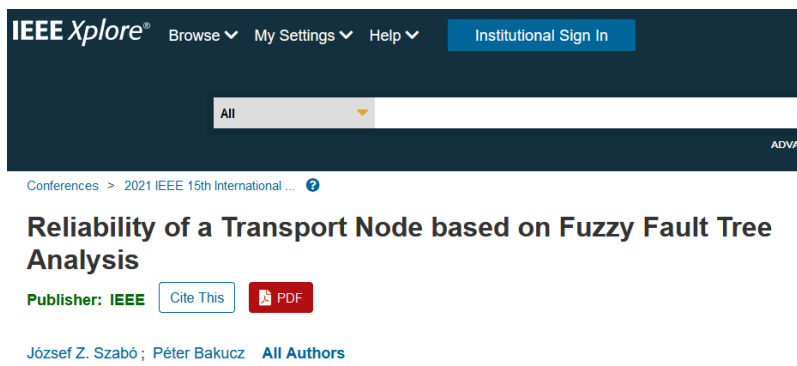
2. ábra. Az eredeti Treezy-referencia fuzzy hibafaelemzés alapján kifejlesztett Simulink-változata A legfelső esemény (TOP), amely a rendszer megbízhatóságaként azonosítható, egy vegyes tagsági függvény, a rendszer megbízhatóságát jellemzi.

Jelen kutatásban, az 1.tézisben kifejtem, hogy a fuzzy FTA az önvezetés megbízhatóságában való alkalmazhatósága a mérnöki tervezés egyik lényeges része. Belátom, hogy a fenti korlátok és körülmények kezelésére megfelelő elméleti módszerekkel kell rendelkezni amennyiben önvezető rendszer megbízhatóságát keressük meg az FTA segítségével, és ez a rendszer összetettségének növekedésével egyre fontosabbá válik.

A habilitációs kutatás második tézisében pedig az önvezető autózás tervezési fázisában található, lényegében nem kezelhető adatmennyiség radikális csökkentését tűztem ki célul ki, mely során a fuzzy FTA eljárást kisminták és modellautók felhasználásával realizálom valós idejű beágyazott rendszerben.

II. Új tudományos eredmények

1. Tézis



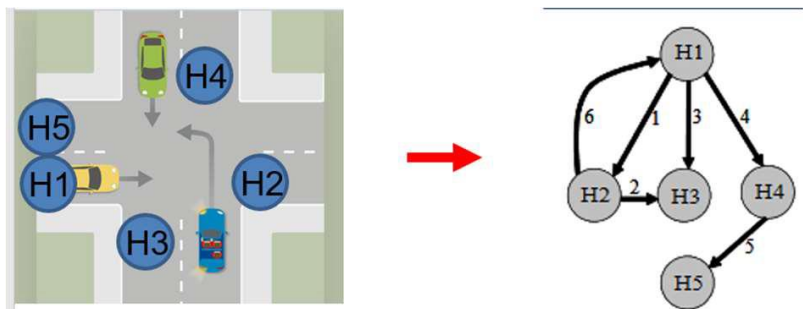
3. ábra. Az 1.tézis alapjául szolgáló publikáció.

Igazoltam, hogy az önvezető autózásban a közlekedési csomópontok megbízhatóságának meghatározása fuzzy hibafa módszerrel, beágyazott valós idejű, önvezető hardware és software környezetben kiválóan alkalmazható.

A tézis alapjául szolgáló publikáció az IEEE adatbázisban a 3.ábrán látható.

Az eljárás a következő lépések realizálását jelenti.

1.lépés → A csomóponti dinamika gráfalakzatba (csomóponti dinamika gráf) való transzformálása.



4. ábra. A csomóponti dinamika gráf bevezetése

Adott az ábrán látható közlekedési csomópont, melynek a megbízhatóságát szeretném meghatározni. Az ábrán látható pl. H1-H5 pozíciókat mint a gráf csomópontjait és a gépjárműmozgást, mint a gráf éleit tekintem.

H1 csomópontból H2-be adott időegység alatt 1 jármű,

H1 csomópontból H3-ba adott időegység alatt 3 jármű,

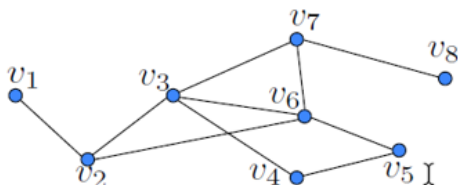
.

.

H4 csomópontból H5-be adott időegység alatt 5 jármű haladt

2.lépés → A csomóponti dinamika gráf egy Laplace mátrixal reprezentálható.

A 4.ábrán 8 csomóponti dinamika gráf van, amit egy 8*8-as mátrix-al lehet reprezentálni a következőképpen



$$\begin{matrix}
 \begin{pmatrix}
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{pmatrix} & - & \begin{pmatrix}
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0
 \end{pmatrix} & = & \begin{pmatrix}
 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -1 & 3 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\
 0 & -1 & 4 & -1 & 0 & -1 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & -1 & 2 & -1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -1 & 2 & -1 & 0 & 0 \\
 0 & -1 & -1 & 0 & -1 & 4 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 3 & -1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1
 \end{pmatrix}
 \end{matrix}$$

D
 A
 L

5. ábra. A Laplace mátrix értelmezése

A D mátrix értelmezése: A v1-ből 1 él vezet ki, ezért a mátrix első sorában (v1) egy 1-es található. A v2-ből 3 él vezet ezért a D mátrix második sorában (v2) egy 3-as szerepel.

Az A mátrix értelmezése: a v1-ből a v2-be vezet él, ezért az A mátrix első sorának második pozíciójában egy 1-es található.

A v2-ből 3 él vezet ki, a v1-be, a v3-ba és a v6-ba, ezért a mátrix második sorának első, harmadik és hatodik pozíciójában egy 1-es található.

Az L, Laplace mátrix pedig D-A-ként értelmezett, azaz

$$L=D-A$$

3.lépés → A gráf segítségével a csomópont hozzátartozási függvényének φ_a – nak meghatározása.

A részleteket ld. a publikációban, ehelyütt csak a függvényt mutatom be

$$\varphi_a = \prod_{i=1}^N g_d(\lambda_1) U_{mi} U_{ai}$$

Ahol

g_d a magfüggvény, s

$U_{ml}U_{al}$ pedig az Laplace mátrix sajátvektor felbontása.

4.lépés $\rightarrow$ A hozzátartozási függvény segítségével a csomópont megbízhatósága a fuzzy FTA csúcsesemény fuzzy értékével arányos.

A fuzzy hibafa H1-H5 elemei az alapesemények, a hozzátartozási függvény pedig a φ_a . Az adatokat kiértékelve (a FFTA-t kiszámolva) a csúcsesemény (top event) fuzzy értéke lesz a csomópont megbízhatóságával arányos.

2. Tézis



6. ábra. Az 2.tézis alapjául szolgáló publikáció.

Kutatásaim során megállapítottam, hogy az önvezető autózás tervezési fázisának legnagyobb problémája a kimagasló, gazdaságosan nem realizálható tesztelési volumen.

A közlekedési csomópont megbízhatóságának meghatározásának, s ezzel egyidőben a tesztelési volumen radikális csökkentésének egyik módszere a csomópont és a járműmozgások kismintavizsgálattal történő modellezése, valamint a kritikus út, mint eljárás fuzzy FTA általi bevezetése (perkoláció). Ezen matematikai környezet implementációja

segítségével, (mely szerint csak a kritikus úthoz tartozó kismintakísérletek realizálhatók), a megbízhatóság meghatározása radikálisan egyszerűsödik. (Konkrét számértéket a tesztelendő függvények száma alapján lehet meghatározni, de a deep learning perceptron függvény validálása 10^3 -adrésze volt a hagyományos validációnak,)

A tézis alapjául szolgáló publikáció az IEEE adatábzisban a 6.ábrán látható.

Az eljárás az alábbi lépések felvételét jelenti (ld. 7.ábrát):

A.lépés $\rightarrow$ A közlekedési csomópont felvétele, kisminta elkészítése.

B.lépés $\rightarrow$ A fuzzy hibafa topológiájának felvétele, a csomópont diszkrét pozícióinak, mint a fuzzy hibafa alapeseményeinek felvétele.

C.lépés $\rightarrow$ A fuzzy hibafa alapeseményeinek és a logikai kapuk mátrix formájú felvétele, ezáltal lehet a fuzzy hibafára mint matematikai objektumra hivatkozni.

D.lépés → a fuzzy hibafa mátrialemeinek ábrázolása, az értékek színes körökkel való felvétele. Pl.

sárga kör -- a fuzzy hibafa mátrixában az elem értéke $x < 0.2$

fekete kör -- a fuzzy hibafa mátrixában az elem értéke $0.21 < x \leq 0.8$

piros kör -- a fuzzy hibafa mátrixában az elem értéke $x > 0.81$

E.lépés → Perkolációt hajtunk végre a színes körökön. A perokoláció során utakat keresünk a mátrix bal és jobb oldala között. Az azonos színű köröket úgy tekintjük, mint ahol az információáramlás megvalósulhat. Változtatva (növelve) a körök számát, létezik egy kritikus „kör-betöltöttség” ahol a mátrix bal oldala és jobb oldala között az adott színes körökön egy transzport (út) tud megvalósulni. Azaz „megvalósult az áttörés”, „létezik egy út a bal és jobb oldal között” → a perkoláció, a kritikus valószínűség p_c adottá válik.

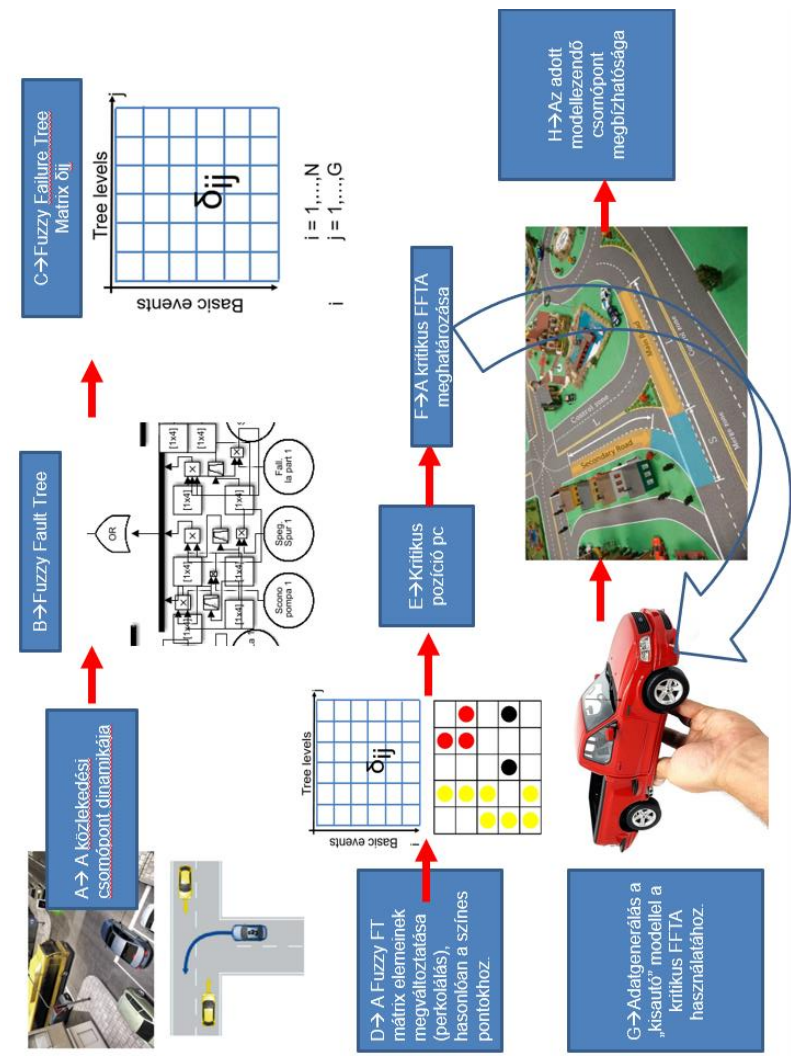
F.lépés → A kritikus valószínűség alapján egy kritikus fuzzy FTA topológiát hozunk létre, melynek elemei a közlekedési csomópont adott pozíciói, a logikai kapukat viszont a kritikus

valószínűség szerint változtatjuk (növeljük), míg a p_c -hez tartozó fuzzy FTA létre nem jön.

G.lépés → Az adott kismintán (a közlekedési csomópont topológiája), adott szenzorszettel felszerelt kisautóra „ráprogramozzuk” (flash-eljük) a fuzzy FTA rendszert és valós időben a kisautóval kísérleteket végezve (különböző csomópontmozgásokat) a csomópont megbízhatósága valós időben kiszámítható, a fuzzy FTA kiértékelésével, a TOP elem alapján.

Az optimum (idő-, és anyagi ráfordításnyereség) jelen esetben kettős:

1. A p_c -hez tartozó kísérletek száma hatványozottabban kisebb mint a hagyományos kísérleteké, valamint
2. a kísérleteket kismintán lehet elvégezni, nincs szükség valós tesztekre (2023-ban 1 tesztóra, valós közúti környezetben (nem kisminta) a Robert Bosch GmbH-nál több mint 5000 € volt.).



5. ábra. A kisminta-eljárás folyamatábrája

III. A kutatás és a bemutatott eredmények hatása, visszhangja

A pályázó az önvezető gépjárművek fejlesztésében a Robert Bosch GmbH németországi fejlesztési központjában Gerlingen-Schillerhöhe-ben tevékenykedett 2015-2023 között mint ipari matematikus.

A pályázó feladata az önvezető gépjárművek megbízhatóságának matematikai igazolása volt beágyazott valós idejű körülmények (embedded, real time) között. A fejlesztési részleg a CC-AD (Chassis Control Autonomous Driving -- Gépjárművezérlés- Önvezetés) volt ahol a pályázó a CC-AD/EYR részlegen kutatott (EYR – Entwicklung Release – Megbízhatóság kutatócsoport).

A téma fontosságát jelzi, hogy ezen idő alatt a Robert Bosch GmbH több mint 1 milliárd EUR-t (400 milliárd HUF) és több mint 22 ezer munkatársat „investált” az önvezető gépjárművek fejlesztésébe, melynek alapvető része a “release”, azaz annak az igazolása hogy ezen

járművek adott SAE szinten miképpen „engedhetők” a közúti forgalomba. (Időközben (2025) a Robert Bosch GmbH Németországi önvezető fejlesztésének intenzitására radikálisan lecsökkent.)

Mindazonáltal a téma nemzetközi fontosságának felismerését megtartva Európában jelenleg a Mercedes-Benz Group folytatja az önvezető gépjárművek sorozatgyártásba való fejlesztését, a részvénytársaság Untertürkheimi gyáregységében, ahol a különféle validálási és verifikálási (V@V) feladatokat végeznek, a gépjárművek napi 24 órás tesztüzeméből származó adatbázis kiértékelése által. A habilitációs kutatásomban szereplő eredményeket melyeket szabadalmak formájában is levédettem, a Mercedes is megvásárolta, s beépítette a kiértékelő rendszerébe.

IV. Irodalmi hivatkozások listája

A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

1. Kiss, Gabor ✉ ; Bakucz, Peter ; Szeghegyi, Agnes
[Determination of the Minimum Number of Possible Testing Situations in Autonomous Driving Using Critical Phenomena](#)
PERIODICA POLYTECHNICA TRANSPORTATION ENGINEERING 51 : 1 pp. 7-14. , 7 p. (2023)
Közlemény:33240908 Folyóiratcikk (Szakcikk) Tudományos
Nyilvános idéző összesen: 1 | Független: 1 | Függő: 0 | Nem jelölt: 0 | WoS jelölt: 1 | Scopus jelölt: 1 | WoS/Scopus jelölt: 1 | DOI jelölt: 1
Folyóirat szakterülete: Scopus - Automotive Engineering SJR indikátor: Q2
Folyóirat szakterülete: Scopus - Aerospace Engineering SJR indikátor: Q3
Folyóirat szakterülete: Scopus - Mechanical Engineering SJR indikátor: Q3
Folyóirat szakterülete: Scopus - Modeling and Simulation SJR indikátor: Q3
2. Kiss, Gábor ✉ ; Bakucz, Péter
[Elkerülhetetlen baleseti helyzetek kezelése az önvezető járművek által](#)
GRADUS 10 : 2 Paper: 2023.2.CSC.023 , 9 p. (2023)
Közlemény:34432656 Folyóiratcikk (Szakcikk) Tudományos
3. Ilona, Tompa ; Péter, Bakucz ; Kiss, Gábor
[Determining traffic node reliability by fuzzy fault tree analysis and small scaled model](#)
In: Szakál, Anikó (szerk.) [IEEE Joint 22nd International Symposium on COMPUTATIONAL INTELLIGENCE and INFORMATICS and 8th International Conference on Recent Achievements in Mechatronics, Automation, Computer Science and Robotics \(CINTI-MACRO 2022\) : Proceedings](#)
Budapest, Magyarország : IEEE Hungary Section (2022) 418 p. pp. 411-417. , 7 p.
Közlemény:33262787 Könyvrészlet (Konferenciaközlemény) Tudományos
4. Kiss, Gábor ; Bakucz, Péter ; Szeghegyi, Ágnes
[Lehetséges közlekedési helyzetek minimális számának meghatározása önvezető járművek tesztelése során a kritikus jelenségek felhasználásával](#)
In: Péter, Tamás (szerk.) [XVI. Innováció és Fenntartható Felszíni Közlekedés Konferencia \(IFFK 2022\)](#)
Budapest, Magyarország : Magyar Mérnökakadémia (MMA) (2022) pp. 1-7. Paper: (02) , 7 p.

Közlemény:33117025 Könyvrészlet (Konferenciaközlemény) Tudományos

5. Szabo, Jozsef Z. ✉ ; Bakucz, Peter

[Determination of extreme values in autonomous driving based on multifractals and dynamic scaling](#)

In: Szakál, Anikó (szerk.) [15th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics SACI 2021](#)

Budapest, Magyarország, Piscataway (NJ), Amerikai Egyesült Államok : Óbudai Egyetem, IEEE (2021) 539 p. pp. 293-297. , 5 p.

Közlemény:32360653 Könyvrészlet (Konferenciaközlemény) Tudományos

6. Bakucz, Péter Pál ✉ ; Szabó, József Zoltán

[Determining the Embedded Key Performance Indicator \(KPI\), based on a Fuzzy FxLMS Algorithm](#)

ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA 18 : 9 pp. 127-139. , 13 p. (2021)

Közlemény:32519678 Folyóiratcikk (Szakcikk) Tudományos

Folyóirat szakterülete: Scopus - Engineering (miscellaneous) SJR indikátor: Q2

Folyóirat szakterülete: Scopus - Multidisciplinary SJR indikátor: Q2

X. Földtudományok Osztálya XFO A

IF: 1.711

7. Bakucz, Peter ; Kiss, Gabor

[Modeling of probable maximum values in autonomous driving](#)

SYSTEM THEORY CONTROL AND COMPUTING JOURNAL 1 : 2 pp. 58-64. , 7 p. (2021)

Közlemény:32559684 Folyóiratcikk (Szakcikk) Tudományos

Nyilvános idéző összesen: 2 | Független: 0 | Függő: 2 | Nem jelölt: 0 | Scopus jelölt:

1 | WoS/Scopus jelölt: 1 | DOI jelölt: 1

8. Szabo, Jozsef Z. ✉ ; Bakucz, Peter

[Reliability of a Transport Node based on Fuzzy Fault Tree Analysis](#)

In: Szakál, Anikó (szerk.) [15th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics SACI 2021](#)

Budapest, Magyarország, Piscataway (NJ), Amerikai Egyesült Államok : Óbudai Egyetem, IEEE (2021) 539 p. pp. 305-309. , 5 p.

Közlemény:32360654 Könyvrészlet (Konferenciaközlemény) Tudományos

Nyilvános idéző összesen: 1 | Független: 0 | Függő: 1 | Nem jelölt: 0 | WoS jelölt: 1

| Scopus jelölt: 1 | WoS/Scopus jelölt: 1 | DOI jelölt: 1

9. Szabó, József Zoltán ; Bakucz, Péter

[Determining fuzzy priorities for hand-held vibration experiment](#)

In: W., Desmet; B., Pluymers; D., Moens; S., Vandemaele (szerk.) [Proceedings of the International Conference on Noise and Vibration](#)

[Engineering \(ISMA2020\) and International Conference on Uncertainty in Structural Dynamics \(USD2020\)](#)

Heverlee, Belgium : KU Leuven, Department of Mechanical Engineering (2020) pp. 3677-3690. , 14 p.

Közlemény:31784883 Könyvrészlet (Konferenciaközlemény) Tudományos

2024. 02. 26. 11:58 Bakucz Peter (Mérnöki tudományok) publikációs listája
about:blank 2/9

10. Szabó, József ; Bakucz, Péter

[Kézi szenzoros rezgésmérés bizonytalansági prioritásainak vizsgálata hibafa analízissel](#)

In: Péter, Tamás (szerk.) [XIV. IFFK 2020: Innováció és fenntartható felszíni közlekedés konferencia](#)

Budapest, Magyarország : Magyar Mérnökakadémia (MMA) (2020) pp. 1-9. , 9 p.

Közlemény:31784894 Könyvrészlet (Konferenciaközlemény) Tudományos

11. Dr. Szabó, József Zoltán ; Bakucz, Péter

[Determination of Critical Fault Tree Components Based on Mixed Fuzzy Top Event](#)

In: Szakál, Anikó (szerk.) [IEEE 17th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics Proceedings, Sisy 2019](#)

Szabadka, Szerbia : IEEE Hungary Section (2019) 273 p. pp. 95-98. , 4 p.

Közlemény:30805800 Könyvrészlet (Konferenciaközlemény) Tudományos

12. Szabó, József Zoltán ; Bakucz, Péter

[Determining Algorithmic Performance with Uncertainty Analysis](#)

In: Szakál, Anikó (szerk.) [IEEE 17th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics Proceedings, Sisy 2019](#)

Szabadka, Szerbia : IEEE Hungary Section (2019) 273 p. pp. 99-102. , 4 p.

Közlemény:30805792 Könyvrészlet (Konferenciaközlemény) Tudományos

.