

Lehetséges közlekedési helyzetek minimális számának meghatározása önvezető járművek tesztelése során a kritikus jelenségek felhasználásával

Dr. habil. Kiss Gábor*, Dr. Bakucz Péter**
Dr. habil. Szegegyi Ágnes***

* Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar,
Népszínház utca 8., 1081 Budapest, Magyarország
(e-mail: kiss.gabor@bgk.uni-obuda.hu)

** Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki kar,
Népszínház utca 8., 1081 Budapest, Magyarország
(e-mail: bakucz.peter@bgk.uni-obuda.hu)

*** Óbudai Egyetem, Keleti Károly Gazdasági Kar,
Tavaszmező utca 15-17., 1084 Budapest, Magyarország
(e-mail: szeghegyi.agnes@kgk.uni-obuda.hu)

Abstract: A cikk fő feladata a kritikus jelenségek, azaz a perkolációs elmélet alapján meghatározni a forgalmi csomópont dinamikájának lefedésére szolgáló kritikus minimális tesztszámot az önvezető járművek tesztelése során. Egy csomópont kritikus (minimális) próbaszámának meghatározása azt jelenti, hogyan tudjuk egy kritikus, perkolációs útvonallal rendelkező csomópont forgalmi dinamikáját egy "állapot-követő állapot" rendszerrel ábrázolni a gráfon. A perkolációs út mentén lévő, azaz az új fázis kialakulásában részt vevő tesztesetek a teljes tesztszámot reprezentálják, és matematikailag egzakt módon kifejezhetően minimálisak. A dolgozatban példán keresztül bemutatjuk, hogy a 640 szükséges elvégzendő tesztből csak kevesebb mint 10-et kell megvalósítani, és ezek reprezentatívak az önvezető jármű release-folyamataira.

1. BEVEZETÉS

A nagymértékben önvezető (autonóm) járművek (HAD) várhatóan pozitív hatással lesznek a globális közlekedési környezetre. A kutatások jelenlegi állása szerint a közlekedési balesetek több mint 80%-át emberi hiba okozza. Az emberi beavatkozás műszaki-matematikai megoldással történő kiváltásával a balesetek száma csökkenthető (Kiss G., Berecz Cs., 2019).

A vezető nélküli járművek lehetővé teszik például a taxiszolgáltatás újra értelmezését és a logisztika modernizálását.

Napjainkban az autonóm járművek fejlesztése évek óta javában zajlik. Az OEM-ek (autógyártók) azt ígérik, hogy az elkövetkező években egyre magasabb fokú autonómiával rendelkező járműveket fognak fejleszteni (Szabó J., Bakucz P., 2021).

Az autonóm jármű vezetője kikapcsolható, s ezáltal nem vehető figyelembe az irányítási műveletek üzemeltetésében. Ennek következtében nagyon magas megbízhatósági követelmények előírányoztak a biztonság, és a megbízhatóság (safety, reliability) tekintetében (Derbel et al., 2012).

Az önvezető járművekre vonatkozó biztonsági követelmények gyakorlati értelmezéséhez és megvalósításához meg kell érteni, hogy mit is jelent valójában a megbízható és

biztonságos viselkedés (Bede, Z., Péter, T., 2011). Egy HAD járműnek például tudnia kell kezelni a közlekedési szabályokat, a környezet geometriáját, topológiáját, és képesnek kell lennie a meteorológiai rendszer értelmezésére. De a ritka, nehezen előre jelezhető közúti veszélyek értelmezésére is (Kiss, G., 2022). Ezután ki kell dolgozni egy stratégiát annak ellenőrzésére, hogy a jármű valóban elérte-e a kívánt biztonsági szintet (Kiss, G., 2020). A HAD fejlesztésének problémája az elkövetkező években a rendszerek release-ja, azaz forgalomba hozatala: hogyan lehet az elkészült hardver-szoftver és algoritmust forgalomba hozni, és hogyan lehet a rendszert értékesíteni.

A nagymértékben automatizált vezetés alapvető prioritása a különböző, előre meghatározott kérdések tesztelése (Kiss, G., 2019) (Kiss, G., Berecz Cs., 2021). Ha a tesztelés iránti igény rendkívül nagy, akkor a magasan automatizált vezetés megvalósításának gazdaságossága kerül napirendre.

A különböző mérnöki megbízhatósági feladatok megoldásához elengedhetetlen a szükséges tesztelési helyzetek minimális számának meghatározása egy közlekedési csomópont, mint alaptopológia és dinamika esetében. Dolgozatunkban erre a feladatra az elméleti fizika kritikus fázisátmenet-elméletét használjuk.

Azt mondjuk, hogy a tesztelés egy véletlenszerű rendszer, és a közlekedési gráfon értelmezett fázisátmenetben a résztvevő tesztesetek figyelembevétele elegendő a rendszer

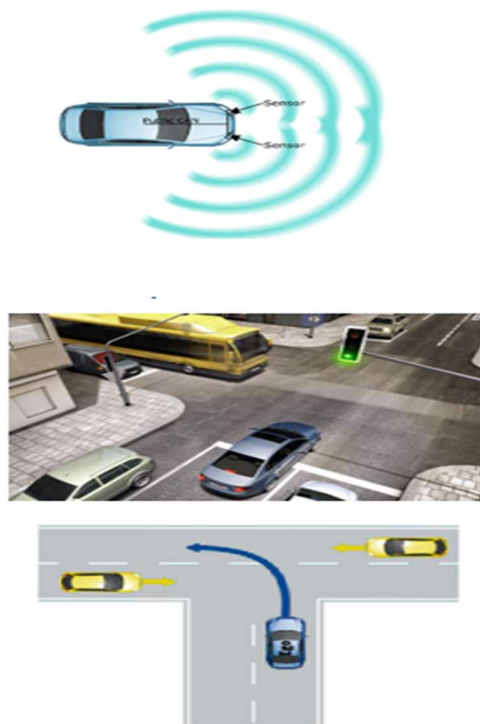
biztonságának és megbízhatóságának jellemzésére. A kritikus helyzetben a rendszer "perkolált" azaz "áttörés valósul meg" és egy új fázis elfoglalása matematikailag kimutatható → Ezen a ponton, amikor a fázisátmenet bekövetkezik, a perkolációs elméletben meghatározott két megkülönböztetett pont közötti kritikus teszteseteken végighaladva elérjük a minimális számú tesztesetet.

Következésképpen ebben a dolgozatban egy olyan módszert mutatunk be, amely a perkoláció ezen értelmezése és rendelkezésre álló eszközrendszere alapján meghatározza a forgalmi helyzetek minimális számát egy közlekedési csomópontban az önvezető jármű teszteléséhez.

A kritikus forgalmi helyzet azt jelenti, hogy a csomópont geometriáját és forgalmi dinamikáját útvonalak segítségével elemzik és számszerűsítik. A közlekedési csomópont dinamikáját a csomópont diszkrétizálásával és az egyes forgalmi résztvevők mozgásának rögzítésével határozzuk meg egy "állapot - következő állapot" rendszerben.

A mi eljárásunkban az "állapot"- "következő állapot" csomópontok közötti minimális, kritikus utat keressük, tudva, hogy a kritikusság ebben a gráfban fraktáldimenzióval jellemezhető (Mathworks Inc, 2020).

Jelen projektben, amelyben az Óbudai Egyetem Autonóm Vezetési Rendszerében alkalmazott tesztek mutatjuk be, a sarokradar szenzor idősor (1. ábra) az észlelési feladatok szerepét tölti be. A sarokradar érzékelő távolságot mér, de az ábra tetején látható paraméterek figyelembevétele az érzékelő érzékelési pontosságának lényeges része.



1. ábra: A sarokradar érzékelő fontossága

A HAD idősorok elemzésének fontossága miatt kihívást jelent az idősorok szélsőértékének és az ilyen szélsőértékek dinamikájának jellemzése, valamint az idősorok kialakulásának megértéséhez hatékony megközelítés kidolgozása beágyazott rendszerek számára. A közelmúltban jelentős előrelépés történt a határfületek megértésében a fraktálfogalmak alkalmazásával és a dinamikus skálázás elméletének kidolgozásával. A fraktálnövekedésben bevezetett dinamikus skálázás a határfületek morfológiájának és evolúciójának jellemzéséhez nélkülözhetetlen eszközzé vált, és a határfületek elméleti vizsgálatában is alkalmazható fraktálapú, nemlineáris elemzés. (Vicsek, 1992).

Ebben a folyóiratcikkben áttekintjük a dinamikus skálázás és a multifraktálemelés alapjait, valamint azt, hogyan jellemezhető az autonóm radarérezékelő idősorok maximális értéke (Hammerschmidt, C., 2017). Ezen ötletek alkalmazásának illusztrálására a HAD adatbázisban szereplő 13593 autonóm radarérezékelő adatait használtuk fel egy vezetési forgatókönyvhöz.

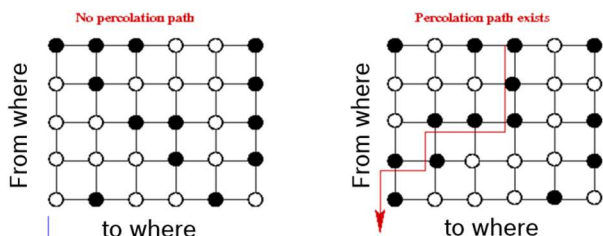
A 2. fejezetben a fraktáldinamikai skálázással foglalkozunk, a radarok szélsőértékeinek elsőrendű figyelembevételével. A multifraktális elemzés módszereit a 3. fejezetben ismertetjük. Ezt követik a 4. fejezetben a sarokraddal kapcsolatos első eredmények, majd az 5. fejezetben az eddigi és jövőbeli munkák összefoglalása.

2. KRITIKUS JELENSÉGEK ÉS AZ ALKALMAZOTT MÓDSZER

A HAD kevés mutatója foglalkozik az idősorokkal és azok nemlineáris tulajdonságaival számos rendszerben (Anderson et al., 2016). Bizonyos alkalmazásokban a cél egy adott fizikai vagy műszaki tulajdonsággal rendelkező idősor előállítás, de az idősorok gyakran az ipari és természeti folyamatok velejárói. Benoit Mandelbrot ugyanis rámutatott, hogy egyes idősorokat a fraktálgeometriai rendszerrel lehet a legjobban megközelíteni (Mandelbrot, B., 1982). Ez a felismerés vezetett egy dinamikus skálázási rendszer kifejlesztéséhez, amely nemcsak egy adott morfológiát ír le, hanem az idősorok belső dinamikáját is, beleértve a szélsőségeket is (Bianchi et al., 1992). Ebben a megközelítésben az idősorok időbeli fejlődését tekintjük egy d-dimenziós térben, egy kezdeti sarokradar idősorból kiindulva.

A módszer lényege az a fizikai tapasztalat, hogy az azonos skálázási tényezővel rendelkező növekvő felületi instabilitások fizikailag azonosak, azaz együtt skálázhatók (Grassberger, P., Proccacia, I., 1983). Cikkünk a minimum problémával foglalkozik egy $m \times n$ csomóponti rácson (P. Bakucz, G. Kiss, 2021). A csomópontok rácsszerűen, m sorokba és n oszlopokba vannak rendezve. Minden csomópont vagy "egy autó jelen van 1" vagy "egy autó nincs jelen 0", p valószínűséggel. Nyilvánvaló, hogy ha p kicsi (közel 0), akkor kevés csomópont lesz "bekapcsolva", míg ha p nagy (közel 1), akkor a legtöbb csomópont lesz "bekapcsolva" (Puccioni, G., Tredicce, J., 1986).

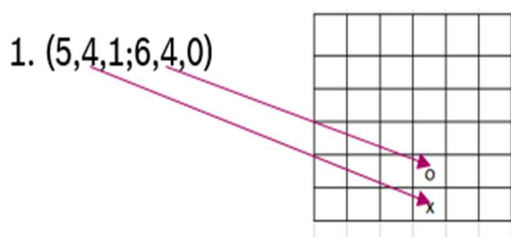
A függőleges perkolációs útvonal a felső sorban lévő csomópontból az alsó sorban lévő csomópontba vezető út, amely teljes egészében "bekapcsolt" csomópontokból áll (Farmer, J., Sidorowich, J.J., 1987). Akkor beszélünk függőleges perkolációról, ha létezik függőleges perkolációs útvonal (2. ábra).



2. ábra A lehetséges tesztelési helyzetek minimális számának meghatározása egy forgalmi csomópontban, perkoláció alapján.

A fekete pontok a függőlegesen jelölt helyzetből a vízszintesen jelölt helyzetbe történő vizsgálatokat, a járműmozgást jelölik.

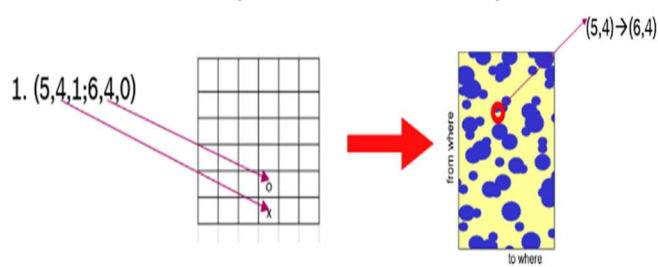
Próbátételek perkolációja akkor áll fenn, ha vagy függőleges vagy vízszintes perkoláció létezik, akkor az új fázis kialakult, azaz megtörtént a fázisátmenet, és ekkor, az áttörésnél az az alakzat, amelyen a perkoláció zajlik, fraktál alakzat (Goldberg et al., 1988) (Arizmendi et al., 1995). Ez az állapot a vizsgálati rendszer egészére jellemző, és az áttörési alakzathoz kapcsolódó vizsgálatok végrehajtása az egész vizsgálati rendszert jellemzi (3. ábra, 4. ábra).



3. ábra. Jelenlegi (honnan) és lehetséges (hová) új helyszín ábrázolási rendszere

Az "o" azt jelenti, hogy egy jármű által elfoglalt. Az "x" a következő pozíciókat jelöli ("az egyik"). A vektoros jelölésben az "o" szimbólum 5,4-es pozíciót, az 1 pedig foglaltat jelöl. Az "x" szimbólum x, y koordinátái 6,4 és 0 a következő pozíciók egyikét jelzi. Összegyűjtjük a lehetséges "honnan" "hová" helyszíneket, amit egy olyan rendszerben ábrázolunk, ahol a függőleges tengelyen a "honnan"? koordináták, a vízszintes tengelyen pedig a "hová"? koordináták jelennek meg. (4. ábra).

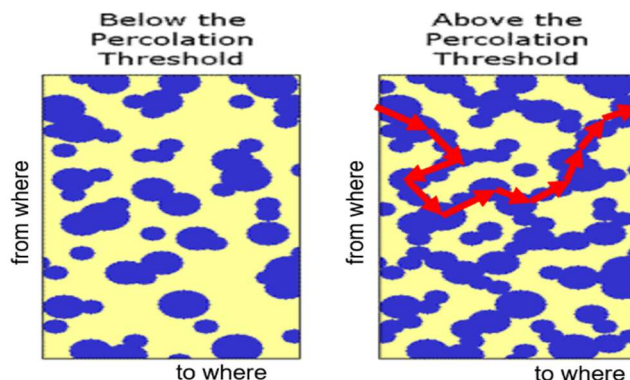
Traffic node Test (percolation)
space space



4. ábra. Lehetséges "honnan" "hová" jelenetek összegyűjtése

A 4. ábrán látható a lehetséges "honnan" "hová" jelenetek összegyűjtése, amelyet egy olyan rendszerben ábrázolunk, ahol a "honnan" koordináták a függőleges tengelyen, a "hová" koordináták pedig a vízszintes tengelyen jelennek meg. Az "o" egy autó által elfoglalt helyet jelent. Az "x" a következő pozíciókat jelöli. Lassan feltöltjük a rendszert (jobb oldal) kék pontokkal (tesztesetekkel), amikor elérjük a rendszer kritikusságát, azaz amikor a perkoláció megtörténik, a kritikus útvonal mentén lévő (vagy a kritikus útvonalat alkotó) tesztek a teljes tesztrendszert képviselik.

Ha "csak" felülről lefelé tudunk haladni, akkor perkoláció történik, új fázis jön létre, és ez az állapot teljesen jellemzi a csomópontban értelmezett járműteszteket. Elég, ha csak ezeket a "perkolációs" tesztek végézzük el. Ha tehát egy véletlenszerű rácsot generálunk, azaz létrehozunk egy rácsot, majd p valószínűség szerint "bekapcsoljuk" a csomópontokat, akkor lehet, hogy lesz perkolációs útvonal (5. ábra), de lehet, hogy nem (Peitgen et al., 1992).



● Testcases from where to where

5. ábra. Tesztesetek számának növelése

A tesztesetek számának növelésével láthatóvá válik a perkolációs hálózat megfelelő koordinátákra történő elhelyezése. A rendszerben lévő tesztesetek (a kék pontok) megjelölésével és számuk növelésével kialakul egy olyan állapot, amikor a piros színnel jelölt útvonal jelenik meg az ábrán, azaz az ábra bal oldaláról a piros színnel jelölt útvonal jobb oldalára léphetünk. Ekkor azt mondjuk, hogy új fázis

jelenik meg, és ebben az állapotban a teljes tesztrendszer a vonalhoz tartozó tesztek elvégzésével reprezentálható, azaz nem szükséges az olykor több százezer teszt elvégzése, hanem elegendő csak ezt a néhány tesztet elvégezni

Legyen Q annak a valószínűsége, hogy perkolációs útvonalat találtunk. Mivel ez a p mag valószínűségétől függ, ezt $Q(p)$ néven fogjuk írni. A célunk a $Q(p)$ és p grafikonjának ábrázolása egy 6×6 -os hálóra. Ezt a függvényt kellően nagy számú minta (ismételt szimulációk) segítségével kell megbecsülnünk.

A perkolációt használjuk, amely egy porózus közeg modellje, és a statisztikus fizikában a kritikus jelenségek paradigmamodellje. Gondoljunk arra, hogy egy végtelen gráfban az el nem távolított kötések jelzik, hogy a víz át tud-e áramlani a közeg ezen részén. Ekkor az érdekes kérdés az, hogy a víz képes-e átszivárogni, vagy pedig az, hogy van-e a kötéseknek egy végtelen összefüggő összetevője, amely megmarad. Mint kiderült, a kérdésre adott válasz érzékenyen függ a megtartott kötések hányadától. Ha a legtöbb kötést megtartjuk, akkor a megtartott vagy elfoglalt kötések alkotják az eredeti gráf nagy részét. Konkrétan létezhet egy végtelen összefüggő komponens, és ha ez megtörténik, azt mondjuk, hogy a rendszer perkolálódik. Másrészt, ha a legtöbb kötést eltávolítjuk vagy üresen hagyjuk, akkor az összefüggő komponensek általában kicsik és jelentéktelenek.

A perkoláció tehát megenged egy fázisátalakulást. A modell egyszerűsége ellenére az eddig elért eredmények korántsem teljesek, és a perkoláció számos aspektusa, különösen a kritikus viselkedés, még nem eléggé ismert.

A perkolációval kapcsolatos legfontosabb kihívás a perkolációs kritikus viselkedés és az alapul szolgáló gráf tulajdonságai közötti kapcsolat feltárása, amelyből élek eltávolításával perkolációt kapunk.

Míg a perkolációban a vizsgált véletlen hálózat természetesen végtelen gráfban él, addig a véletlen gráfelméletben véletlen véges gráfokat tekintünk (Peters, E., 1991). Így minden véletlen gráfot úgy kapunk, hogy a teljes gráfból éleket távolítunk el, vagy éleket adunk hozzá egy üres gráfhoz. A véletlen gráf fontos példáját úgy kapjuk, hogy egy véges gráfból egymástól függetlenül eltávolítjuk a kötések, ami egyértelművé teszi, hogy erős kapcsolat van a perkolációval. Azonban más mechanizmusok is lehetségesek egy véletlen gráf létrehozására (Schroeder, M., 1991).

A következőkben a véletlen gráfelmélet néhány alapvetését tárgyaljuk, a legnagyobb összefüggő komponens fázisátmenetére és a véletlen gráfok távolságaira összpontosítva. Az itt vizsgált véletlen gráfmodelleket alkalmazások ihlették, és olyan valós hálózatokat fogunk kiemelni, amelyeket ezek a véletlen gráfok bizonyos mértékig modellezni kívánnak.

Legyen $G = (V, E)$ egy gráf, ahol V a csúcshalmaz, $E \subseteq V \times V$ pedig az élhalmaz.

Esetünkben a forgalmi csomóponton definiálunk teszteseteket, és a kék pontok (lásd később az ábrákat) a "cellából (állapot)" a "cellába (állapot)" tesztelési kísérleteket jelölik.

A perkoláció esetében a csúcsok száma, amelyet $|V|$ -vel jelölünk, természetesen végtelen, míg a véletlen gráfok esetében $|V|$ természetesen véges.

Egy véletlen hálózatot egy bizonyos szabály alapján kapunk, amely meghatározza, hogy az E élek melyik részhalmaza foglalt, a többi él üres. Legyen $v \in V$, és jelöljük $C(v)$ -vel azoknak a csúcsoknak a halmazát, amelyek v -ből elfoglalt élekkel érhetők el (1). Pontosabban, $u \in V$ esetében azt mondjuk, hogy $u \longleftrightarrow v$, ha létezik egy olyan, foglalt élekből álló útvonal, amely összeköti u -t és v -t, és azt írjuk, hogy

$$C(v) = \{u \in V: u \longleftrightarrow v\} \quad (1)$$

A minimális tesztesetek vizsgálatában a központi válasz a csomóméret-eloszlásokra vonatkozik, vagyis arra, hogy perkoláció esetén létezik-e végtelen összefüggő komponens, illetve véletlen gráfok esetén milyen a legnagyobb összefüggő komponens eloszlása

3. ALGORITMUS, EREDMÉNYEK

Az új rendszerünk a következő lépésekkel írható le. (6. ábra)

A → Egy közlekedési csomópont dinamikája ott adott, ahol a járművek mozgását adott kezdeti és peremfeltételekkel (csomópont topológiája, kerékpárosok, gyalogosok, közlekedési lámpa) egy radarrendszer fogadja és önvezetésre bocsátja.

B → Csomópont diszkrétizálása téglalapokkal. A diszkrétizációra a perkolációs folyamat elvégzéséhez van szükség. A perkoláció egy négyzetcellás elemen értelmezett perturbációs séma. A négyzetes cella elemei vagy terheltek, vagy terheletlenek, azaz ahol mozgás történhet, vagy ahol nem. A legegyszerűbben a talajban zajló szivárgási folyamatként írható le, ahol a rés az, ahol a folyadék áramolhat, a szemcse pedig az, ahol nem. Esetünkben a terhelt cella az, ahol a szállítás teret kaphat (járda) ("o" foglalt), a terheletlen cella pedig az, ahol nem (járda, elválasztó).

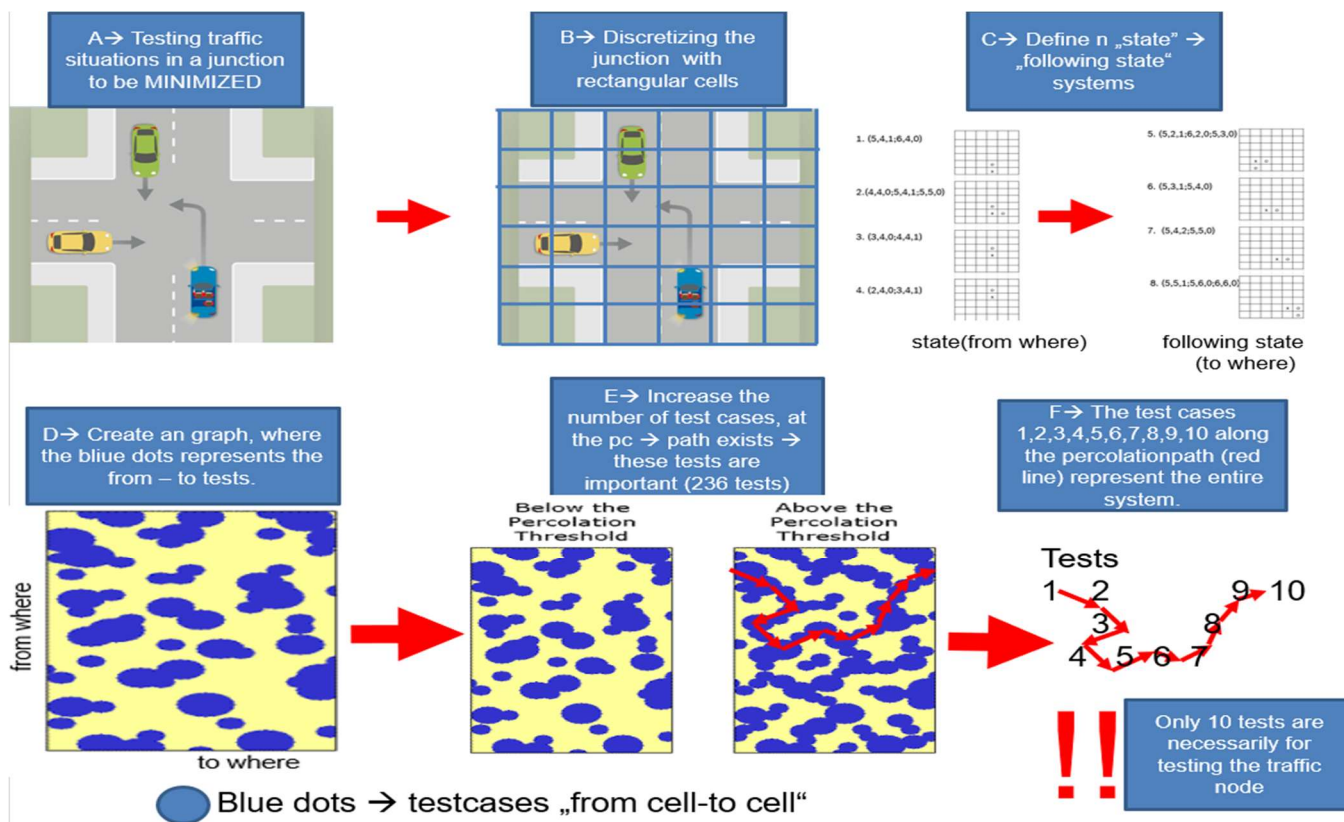
C → Az egyes elemek (cellák) értelmezését a disszociált csomópont, a 3. ábra jelölését követve. Az "o" azt jelenti, hogy egy autó által elfoglalt. Az "x" a következő pozíciókat jelöli ("az egyik"). Az "x" szimbólum esetében az x, y koordináták $6,4$, a 0 pedig a következő lehetséges pozíciók egyikét jelzi. Összegyűjtjük a lehetséges "honnan" "hová" helyszíneket (lásd később), amit egy olyan rendszerben ábrázolunk, ahol a függőleges tengelyen a "honnan" koordináták, a vízszintes tengelyen pedig a "hová" koordináták jelennek meg. A cellás rendszerben egy csomópont szállítási dinamikáját úgy értelmezzük, hogy az egy "honnan hová" rendszert hoz létre. Ezt a 6. ábrán úgy értelmezzük, hogy a bal oldalon a "honnan" állapotot (koordináták), a jobb oldalon pedig a "hová" állapotot (koordináták) jelöli. A bal oldali négyzetekben és

ezekben a cellákban vannak a jármű kiindulási koordinátái. Ezt a járműegységet (pl. radar) kell tesztelnünk. Vagyis a teljes tesztelési folyamatot úgy képzelhetjük el, hogy a tesztelendő jármű mozgását elemekre, atomokra bontjuk a kiindulási helyzettől (a bal oldali négyzetek) a jobb oldali "hol" pozícióig. Adott például 4000 tesztfeladat, mindegyiket atomokra bonthatjuk, és felírhatjuk a kiindulási pozíciót és a végső pozíciót. A lényeg az, hogy matematikailag a 4000 tesztfeladat redundáns, és van egy részhalmaz, amely a 4000 tesztfeladatot reprezentálja. Ezt a részhalmazt keresi a kritikus pálya definíciós sávja a perkolációs elmélet segítségével.

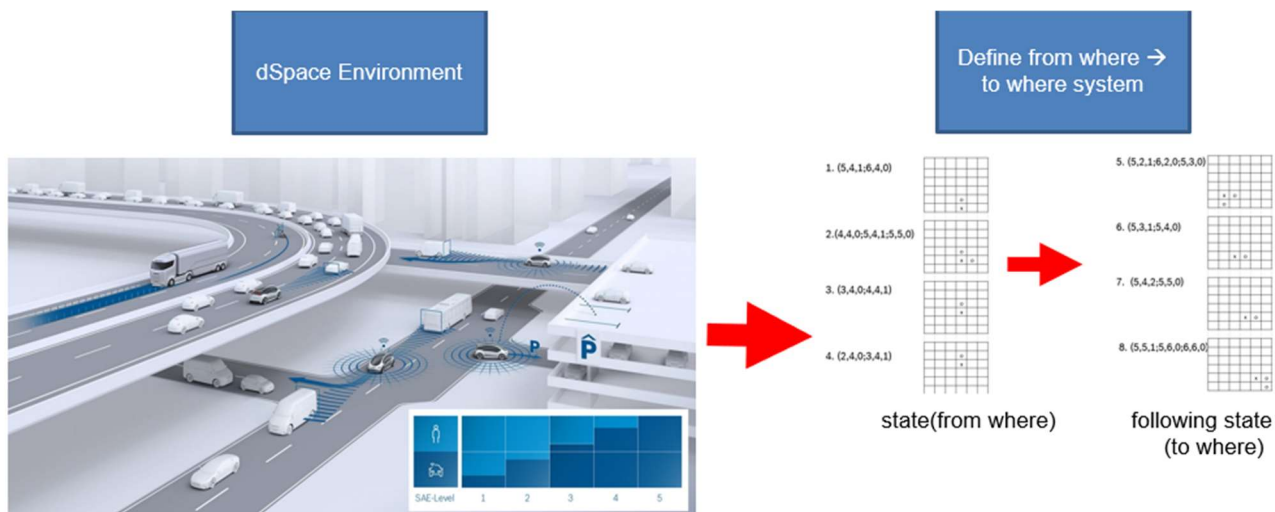
D→A honnan hová rendszert buborékokkal akarjuk ábrázolni, hogy a perkolációs elméletet alkalmazzuk. Ehhez azonban a két koordinátát (pl. 4,5, ahonnan egy tesztautó indul) le kell dimenzióznunk, és ezt az átalakítást a D lépésben végezzük el a tesztkoordinátákat egyetlen számmá alakítjuk. Például az (5,6)-ból 1 és a (8,2)-ből 2 lehet az elvégzendő tesztek jelölésére. Az ábrán a "honnan hová" rendszert értelmezve a vízszintes tengelyen (honnan hová) a tesztkoordináták (honnan hová), a függőleges tengelyen (hová) pedig a koordináták (hová) szerepelnek. Jellemzőek a kék pontok, amelyeket az eredeti követelményrendszerben szükséges teszteként értelmezünk.

E→A pontrendszerben most a klasszikus perkolációs elmélet háttérben vagyunk. A kék pontokon bolyonghatunk. Ahogy a perkolációs elmélet diktálja, növeljük a pontok számát (a tesztek számát), akkor létezik egy kritikus út a rendszer bal és jobb oldala között, amikor éppen elérjük az áttörést, perkolációt kapunk, és elérjük a kritikus tesztszámot. A tesztesetek számának növelésével a perkolációs hálózat megfelelő koordinátákra történő elhelyezése láthatóvá válik. A rendszerben lévő tesztesetek (a kék pontok) feltüntetésével és számuk növelésével kialakul az az állapot, amikor a piros színnel jelölt út megjelenik az ábrán, azaz az ábra bal oldaláról a piros színnel jelölt út jobbra oldalára juthatunk. Ekkor az új fázisnak mondható, és ebben az állapotban a teljes tesztrendszer reprezentálható a vonalhoz tartozó tesztek elvégzésével, azaz nem szükséges az esetenként több százezer teszt elvégzése, hanem elegendő csak ezt a néhány tesztet elvégezni.

F→ Ha a kék pontokon megtörtént a perkolációs áttörés, akkor a tesztelési koordinátarendszerben a perkolációs útvonal mentén lévő tesztek (a koordináták) kerülnek kiválasztásra, és ezek lesznek a kritikus jelenségek alapján kiválasztott minimális számú tesztek elemei.



6. ábra Óbudai Egyetem autonóm vezetőszoftver radarelemzés: a lehetséges minimális számú vizsgálati helyzet meghatározása a perkolációs elmélet alapján



7. ábra Óbudai Egyetem autonóm vezetési szoftver radarelemzése: dSpace szimulációs környezet.

4. FELHASZNÁLT VIZSGÁLATI ADATBÁZIS

A vizsgálatokat a megrendelő határozza meg a követelményekben. A lehetséges tesztek a dSpace autonóm vezetésszimulációs környezet (dSpace 2022) segítségével rögzítették (7. ábra). A radarkísérletekhez összesen több mint 4000 kísérletet definiáltak és virtuálisan teszteltek, valamint egy adott megközelítési helyzethez elemi egységekre bontottak.

4. A MÓDSZER ELŐNYEI

A kritikus forgalmi tesztek meghatározása a perkolációs elmélet alapján fontos alkalmazási terület. A forgalmi csomópontok megbízhatóságának pontos meghatározása a perkolációs utak alapján azonban a szakirodalomban nem eléggé megalapozott (Kratmuller, M., 2010).

A módszer előnyei a következők:

- A perkolációs útvonal-módszer meghatározza a kritikus tesztkísérletek minimális számát, amely matematikailag teljesen pontosan és levezethető módon helyettesíti a teljes tesztrendszert,
- A dinamikus skálázás segítségével, ha $r=124$ (ms), akkor $c(124, t) = 82$, majd ha $t \rightarrow \infty$ és

$$\alpha = (1 \lg(124)) / (2 \lg(82)) = 0,5269 \quad (2)$$

akkor a szélsőérték $w = 129,1$ állandó [Radar_unit].

A projekt következő fázisa a fixpontos Matlab C++ kód generálása és annak tesztelése valós adatokkal [17-20].

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Az Óbudai Egyetemen futó Self-Driving Automotive Platform projekt keretében nemlineáris módszereket elemeztünk a sarokradar szenzor idősor valószínűsíthető maximumainak, az autonóm vezetés rezgésjelének ún. szélsőértékeinek előrejelzésére.

Az első következtetések Az alábbiak:

- A radarjel szélsőértékeinek meghatározása nemlineáris időszorelemzéssel jelentősen egyszerűsíthető, ezáltal beágyazhatóvá tehető.
- A tesztelés szükségessége csökkenthető, ha az ütközések előre jelezhetők a radar. érzékelő paramétereinek szélsőértékeit elemezve.
- Új vizsgálati eredmények integrálhatók a már meglévő rendszerbe.

4. REFERENCES

- Anderson J. M. et al. (2016), "Autonomous vehicle technology". Rand Corporation, pp 214.
- Arizmendi, C., Sanchez, J., Foti, M. (1995) "Fractals", Vol. 3, pp 155.
- Bakucz, P., Kiss, G. (2021) "Modeling of probable maximum values in autonomous driving", Syst. Theor. Control Comput. J., vol. 1, no. 2, pp. 58–64, DOI: 10.52846/stccj.2021.1.2.28
- Bede, Z., Péter, T. (2011) "The mathematical modeling of reversible lane system", Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 39(1), pp. 7–10. <https://doi.org/10.3311/pp.tr.2011-1.02>

- Bianchi, M., Arizmendi, C., Sanchez, J., Int. J. (1992) "Biom", Vol. 36, pp 172.
- Derbel, O., Péter, T., Zebiri, H., Mourllion, B., Basset, M. (2012) "Modified Intelligent Driver Model", Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 40(2), pp. 53–60. <https://doi.org/10.3311/pp.tr.2012-2.02>
- dSpace GmbH, Paderborn Germany. dSpace Autonomous DrivingSimulation Tool, August 2022.
- Farmer, J., Sidorowich, J.J. (1987) "Physical Review Letters", Vol. 59, pp 845.
- Goldberg, C., Buch, H., Moseholm, I., & Weeks, E. R. (1988). Airborne pollen records in Denmark, 1977–1986. Grana, 27, 209–217.
- Grassberger, P., Proccacia, I., (1983) "Physical Review Letters", Vol. 50, pp 346.
- Hammerschmidt, C. (2017) "5th generation of radar sensors offers significantly higher resolution", EE Automotive <https://www.eenewsautomotive.com/news/5th-generation-radar-sensors-offers-significantly-higher-resolution>
- Kiss, G. (2019) "The Danger of using Artificial Intelligence by Development of Autonomous Vehicles", Interdisciplinary description of complex systems, ISSN1334-4684 Vol. 17, No. 4, pp 716-722, DOI: 10.7906/indecs.17.4.3
- Kiss, G. (2020) „Manchurian artificial intelligence in autonomous vehicles”, urnal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. 38, no. 5, pp. 5841-5845, DOI: 10.3233/JIFS-179671
- Kiss, G. (2022) "How to impede the external manipulation of autonomous cars?", Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. 43, no. 2, pp. 1761-1769, DOI: 10.3233/JIFS-219277
- Kiss, G., Berecz Cs. (2019) "Questions of Security in the World of Autonomous Vehicles", Proceedings of the 2019 the 5th International Conference on e-Society, e-Learning and e-Technologies - ICSLT 2019, ISBN: 9781450362351, pp 109-115, DOI: 10.1145/3312714.3312718
- Kiss, G., Berecz Cs. (2021) "Priority levels and danger in usage of artificial intelligence in the world of autonomous vehicle", Advances in Intelligent Systems and Computing ISSN: 2194-5357, Vol. 1221, pp 307-316, DOI: 10.1007/978-3-030-51992-6_24
- Kratmuller, M. (2010) "Combining Fuzzy/Wavelet Adaptive Error Tracking Control Design". Acta Polytechnica Hungarica Vol. 7, No. 4,
- Mandelbrot, B. (1982) "The Fractal Geometry of Nature", Freeman, San Fransisco, ISBN: 978-0716711865
- Mathworks Inc., (2020) "Matlab 2020b computer algebra software", System Identification Toolbox.
- Peitgen, H., Jurgens, H., Saupe, D. (1992) "Chaos and Fractals", New Frontiers of Science, Springer Verlag, New York
- Peters, E., (1991) "Chaos and Order in the Capital Markets", John Wiley and Sons
- Puccioni, G., Tredicce, J., (1986) "Physical Review Letters" Vol. 114A, pp 217.
- Szabó, J., Bakucz, P. (2021) "Determination of extreme values in autonomous driving based on multifractals and dynamic scaling", In: 2021 IEEE 15th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI 2021), DOI: 10.1109/SACI51354.2021.9465582.
- Schroeder, M. (1991) "Fractal, Chaos, Power Laws", W.H. Freeman,