

SZIMULÁCIÓS SZOFTVER KIVÁLASZTÁSA ÉS ELLENŐRZÉSE AUTONÓM JÁRMŰVEK DINAMIKÁJÁNAK VIZSGÁLATÁHOZ

SELECTION AND ANALYSATION OF A SIMULATION SOFTWARE FOR THE INVESTIGATION OF AUTONOMOUS VEHICLE DYNAMICS

Widner Attila¹ Bári Gergely²

¹ Járműtechnológia Tanszék, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Neumann János Egyetem, Magyarország

² Járműtechnológia Tanszék, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Neumann János Egyetem, Magyarország

Kulcsszavak:

dőlési momentán centrum
safety-margin
autonóm jármű
vehicle dynamics

Keywords:

roll center
safety-margin
autonomous vehicle
vehicle dynamics

Cikk történet:

Beérkezett 2018. október 24.
Átdolgozva 2018. október 31.
Elfogadva 2019. március 20.

Összefoglalás

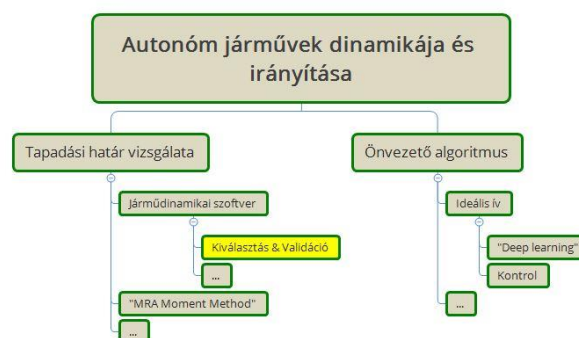
Napjainkban a mobilitással kapcsolatos kutatások egyre inkább az autonóm járművekről szólnak. Kutatásunk során célunk egy olyan fejlesztési környezet kialakítása, ami önvezető algoritmus fejlesztése során alkalmas a jármű tapadási határon való viselkedésének vizsgálatára. Egy ilyen környezet fontos eleme a szimulációs szoftver. Ebben a dokumentumban a szoftver kiválasztását valamint vizsgálatát mutatom be.

Abstract

Nowadays mobility-researches are about autonomous vehicles. Our goal is to create an environment which is suitable for grip limit behavior analysis during self-driving algorithm development. A simulation software is essential part of such an environment. This document introduces the selection and validation of the simulation environment.

1. Bevezetés

Az autonóm járművekről szóló publikációk száma nagymértékben növekszik. Önvezető algoritmus fejlesztés, neurális hálók, "deep learning" és a rendszerhez szükséges szenzorokkal kapcsolatos témában számtalan tanulmány született az elmúlt években. A mi célunk egy olyan környezet megalkotása, ami alkalmas a jármű menetdinamikai vizsgálatára is az önvezető algoritmus fejlesztése során. A kutatás két fő ágát az 1. ábra mutatja. Az általunk kivitelezendő környezet központjában egy járműdinamikai szimulációs szoftver áll.



1. ábra Kutatási struktúra

Jelen dokumentumban a szoftver kiválasztási illetve validálási módszer első lépéseit mutatjuk be, nagyobb hangsúlyt fektetve a tapadási határ vizsgálatához szükséges követelményeknek.

Habár hagyományos járművek ritkán üzemelnek a gumi szaturációs tartományában közel a tapadási határhoz, esetünkben kritikus fontossággal bír, hogy az önvezető algoritmus számára megfelelő információk álljanak rendelkezésére a jármű mozgásállapot-változtató képességéről, valamint stabilitásáról. Minderre azért van szükség, hogy a jármű képes legyen gyors manőverekre, ugyanakkor mindvégig stabil maradjon. A fent említett képességek jellemzésére az úgynevezett "safety-margin"-t szokás meghatározni.

A vizsgálathoz használandó szoftvernek szigorú és összetett követelményrendszernek kell megfelelnie. A vele szemben támasztott követelményeket a következő fejezetben tárgyaljuk. Viszont fontos megemlíteni az elején, hogy a validációra azért van szükség, mert e programok más és más algoritmus alapján számítják a járműmozgást, továbbá hajlamosak túlegyszerűsíteni a számítási kapacitás és sebesség növelése érdekében. Így olykor elhanyagolják olyan paraméterek hatását melyek csekély jelentőséggel bírnak hagyományos körülmények között, viszont nagy hatással lehetnek a tapadási határon való viselkedésre - így esetünkben fontosak.

A szoftvert a kiválasztás után - annak érdekében, hogy megbizonyosodjunk arról, hogy megfelel a mi igényeinknek - le kell ellenőrizni. Ez azért szükséges, mert a legtöbb esetben a szoftvert fejlesztő csapat dönti el, hogy a számítási algoritmus megfelelően pontos-e. [1]

Megvizsgáljuk, hogy a paraméterek változása milyen hatással van a jármű viselkedésére. Első lépésként meggyőződünk arról, hogy az eredmények ésszerűek-e, a kimeneti értékek (átterhelődés mértéke, aránya a tengelyek között, stb.) reálisnak mondhatók-e adott jármű paramétereknél és teszteseteknél. [2] Ezután megvizsgáljuk a modellt a bemeneti paraméterek ésszerű nagyságú tartományán ez a módszer az úgynevezett érzékenységvizsgálat. Végül, összehasonlítjuk a modell kimeneteit a tényleges rendszer múltbeli teljesítményével.

2. Szimulációs környezet kiválasztása

A járműdinamikai szimulációs szoftvereknek széles skáláját alkalmazzák az iparban, és legtöbbjük számos funkcióval rendelkezik. A mi nézőpontunkból két fontos terület van, amelyeket figyelembe kell venni. Az első a szenzor szimuláció és a valós idejű HIL (Hardware in loop) tesztek - az önvezető algoritmus fejlesztéséhez. A második az, hogy milyen pontosan kezeli a program a futómű paraméterek hatását - a safety-margin kutatáshoz.

Az autonóm járművek kamerákat, radart, lidart és egyéb érzékelőket használnak a jármű mozgásállapotával (pozíció, mozgás iránya, sebessége) és a környezettel (út, környező objektumok) kapcsolatos információszerzéshez. Ezek az érzékelők nagyágrendekkel több adatot produkálnak, mint azok, amelyeket hagyományos vezetés támogató rendszerekhez használnak. A kiválasztott szoftvernek képesnek kell lennie e szenzorok szimulálására is. Az önvezető modul fejlesztés későbbi lépéseire valós idejű HIL teszt modulra is szükség van, a rendszer megfelelő teszteléséhez.

A legelterjedtebb járműdinamikai szimulációs szoftvereket az alábbi fő szempontok alapján vizsgáltuk:

- Szenzor szimuláció (radar, lidar, kamera)
- Matlab / Simulink integráció
- Python integráció
- HIL teszt modul
- Ár
- Futómű tervező/vizsgáló modul

A szoftverek részletes összehasonlításához sok információra van szükség, amelyet nehéz összegyűjteni, ha nincs lehetőség a programok mélyreható tesztelésére. A rendelkezésre álló információk alapján az IPG Carmaker bizonyult a legalkalmasabbnak a projekthez, így a validációs folyamatot is ezen dolgoztuk ki. Az ellenőrzési procedúra szoftverfüggetlen, ami azt jelenti, hogy később ez a folyamat könnyen átültethető bármely más alkalmazásra.

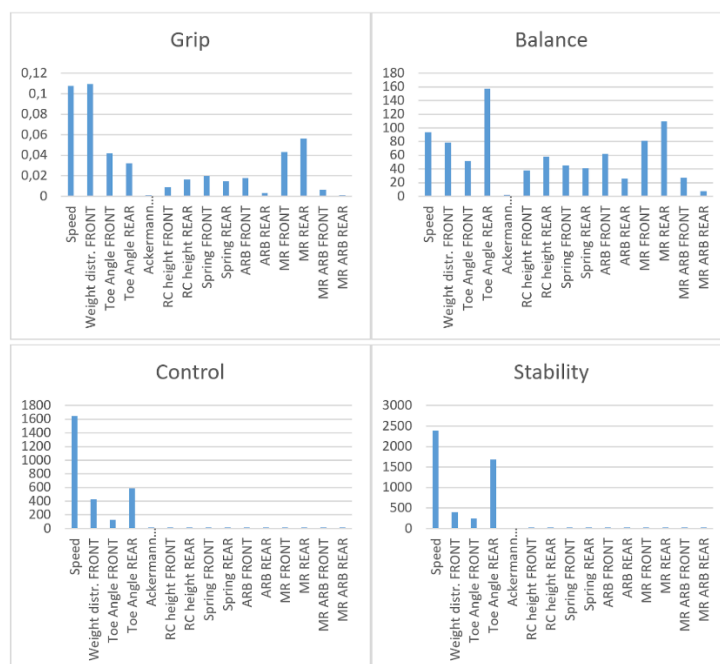
3. A választott szoftver validálása

“Az ellenőrzés és validálás célja egy olyan modell, amely pontos, az általa képviselt valós rendszer teljesítményének előrejelzésekor, valamint két különböző forgatókönyv vagy modell konfiguráció közötti teljesítménykülönbség megjóslásakor. Továbbá a modell validálási folyamatnak növelnie kell a modell használhatóságát és megbízhatóságát a döntéshozók számára” [3]

Számos szakértő szerint nincs abszolút validált modell, szoftver. [2,4,5] "A modell érvényessége csak a projekt és a tervezett alkalmazás határain belül határozható meg. Annak ellenére, hogy egy átfogóbb érvényességi elemzés növeli a modell hitelességét, az többlet pénzügyi és időbeli ráfordítást igényel. Így egy komplex rendszer szimulációs modellje csak a tényleges rendszer közelítése lehet." [1]

A szimulációs környezet csak akkor tekinthető érvényesnek, ha a modell kimenetek megfelelnek egy pontossági kritériumnak.[1] Milyen pontossággal kell megközelítenie a járműdinamikai szimulációs eredményeknek a valóságot, ahhoz hogy ezen információk biztonsággal használhatóak legyenek egy önvezető algoritmus fejlesztésekor? Mely jármű paraméterek befolyásolják jelentős mértékben a jármű tapadását, irányíthatóságát, balanszát? Ezen kritériumok meghatározása nagy és összetett feladat, így jelen publikációban eltekintünk a részletes bemutatástól.

Vizsgálat fontos a paraméterek megemlítése, melyek hatását a validációs folyamatban vizsgáltuk vagy vizsgálni fogjuk. A menetdinamika szempontjából fontos paramétereket MRA Moment Method-dal (MMM) határoztuk meg. Az MMM vizsgálatról a [6]-ban olvashatnak bővebben. A 2. ábra a vizsgálat eredményeit mutatja, vízszintes tengelyen az egyes paraméterek találhatók. A függőleges tengelyen látható, hogy mely paraméterek milyen mértékben befolyásolják a jármű tapadását (grip), balanszát (balance), irányíthatóságát (control), valamint stabilitását (stability) állandósult állapotban.



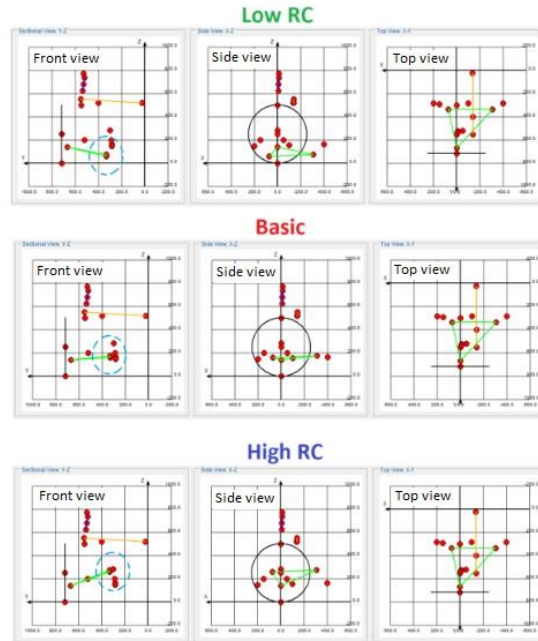
2. ábra. Paraméterek hatása az állandósult állapotú menetdinamikára [6]

A járműdinamikai szimulációkkal célunk a manőverezhetőség és stabilitás vizsgálata a tapadási határon, így az állandósult állapot mellett a jármű tranziens viselkedésével kapcsolatos információkra is szükségünk van. Mindkét állapotban jelentős hatása van a dőlési momentán centrum helyzetének, mivel befolyásolja tengelyek dőlési merevségét, az átterhelődések időbeni lefolyását, a karosszériára ható erők irányát, valamint hatással van a futómű kinematikára is. [7]

A szoftver ellenőrzési folyamatot a momentán centrum magasság hatásának vizsgálatán keresztül mutatjuk be.

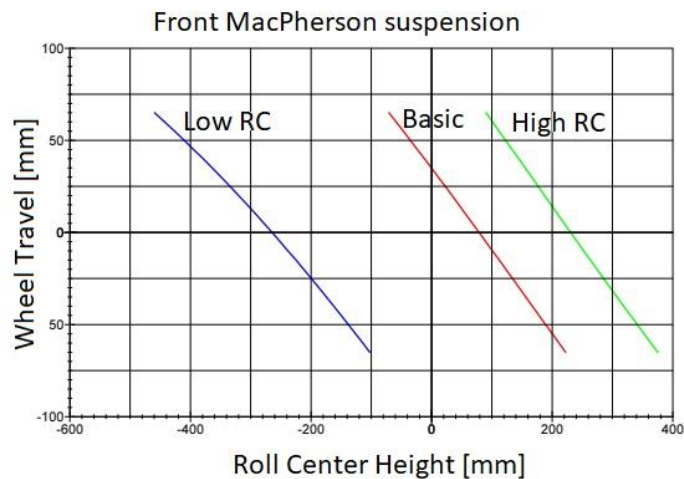
3.1. A vizsgált jármű paraméterei

A szimulációkat egy első kerék meghajtású személygépkocsival végeztük. Az első MacPherson felfüggesztés momentán centrumának magassága IPG Kinematics-ben lett módosítva a lengőkar belső bekötési pontjainak áthelyezésével.



3. ábra. MacPherson futómű bekötési pontok

A vizsgálatokhoz három futómű konfigurációt használtunk. Alap felfüggesztés, magasabb momentán centrummal és talajszint alatti momentán centrummal rendelkező. A futómű bekötési pontokat piros pontokkal ábrázolva a 3. ábra mutatja, szaggatott karikázással jelölve látható a lengőkar belső bekötési pontja melyet módosítva kaptuk a magasabb (High RC), illetve alacsonyabb (Low RC) momentán centrumot. A momentán centrum változási karakterisztikák a 4. ábrán láthatók.

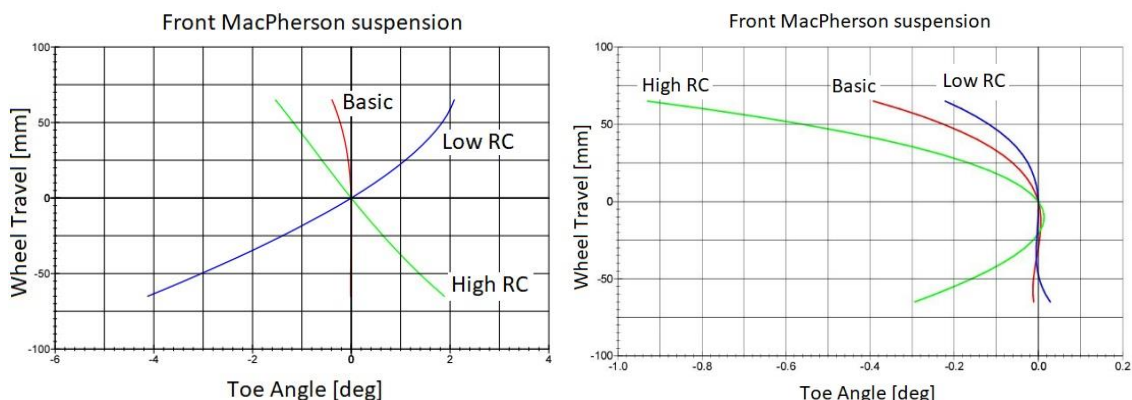


4. ábra. Dőlési momentán centrum magasság változási karakterisztika alap és módosított futóművek esetén

A futómű módosításnak a momentán centrum változás mellett számos nem kívánt hatása is van, melyek befolyásolhatják a szimulációk eredményét.

A momentán centrum pozíciója hatással van többek között a kerék dőlésváltozási és önkormányzási karakterisztikáira. A dőlésváltozási karakterisztikát elhanyagolható mértékben befolyásolta a dőlési momentán centrum magasság változása.

Ellenben az önkormányzási karakterisztika jelentős mértékben változott. Ezt mutatja az 5. ábra bal oldala.



5. ábra. Önkormányzási karakterisztika módosítás előtt (bal) és után (jobb)

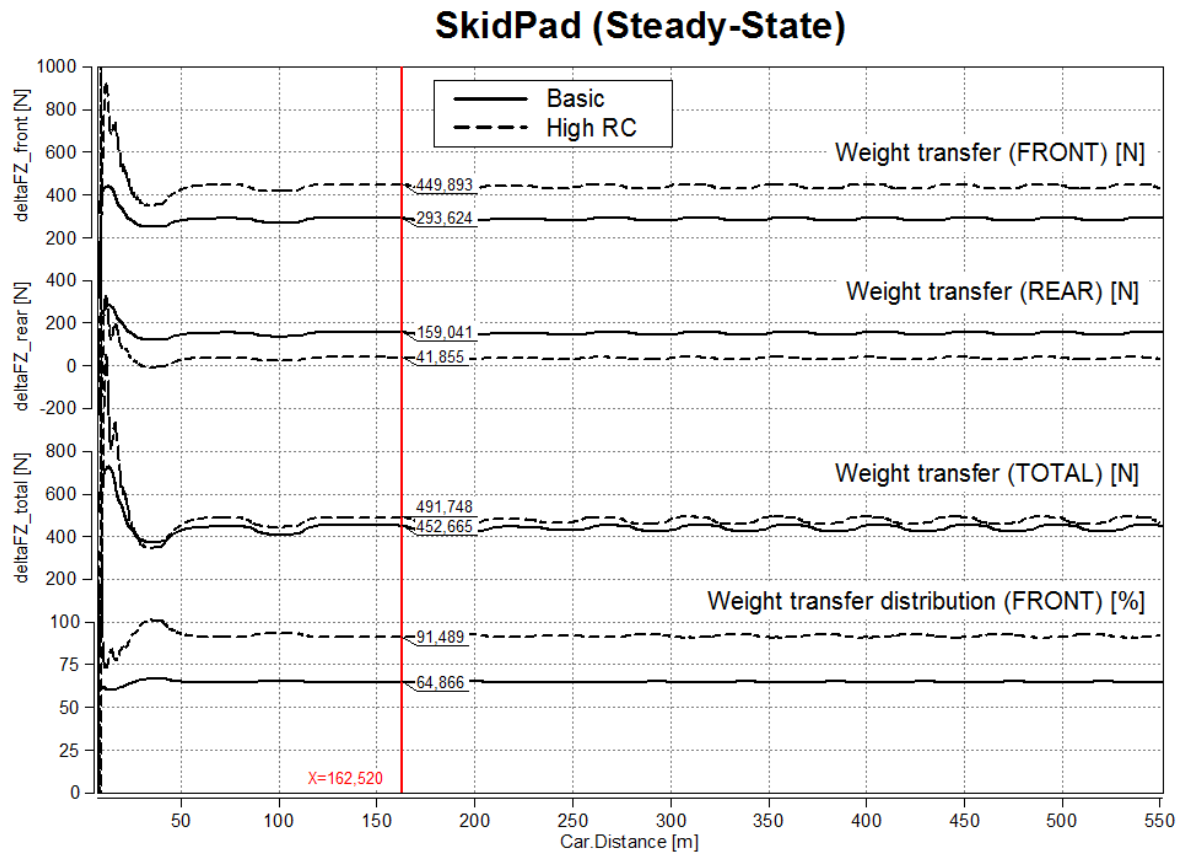
Az önkormányzást a kormányösszekötő két bekötési pontjának áthelyezésével oldottuk meg. Így az 5. ábra jobb oldalán látható karakterisztikákat kaptuk. Jól látható, hogy az alacsony (Low RC) és magas (High RC) momentán centrummal rendelkező futóműveknél még mindig van eltérés viszont a működési tartományban ez elhanyagolható mértékű.

A rugórugók mozgás áttétele szintén változott és ez jelenetős hatással van az átterhelődésekre mivel a kerékre számolt redukált rugómerevség négyzetesen függ a mozgás áttételtől. Ezt a rugók merevségének illetve terheletlen hosszának változtatásával oldottuk meg, így a hasmagasság és a kerék fölé számolt rugómerevség megegyezik mindhárom esetben.

3.2. Szimulációs eredmények kiértékelése

Az átterhelődést állandósult állapotban konstans sugarú körpályán vizsgáltuk. A szimuláció eredményeit ezen a szinten kvalitatív módon értékeltük, azaz azt vizsgáltuk, hogy az eredmények megfelelnek-e az elméletnek, de más módszerrel nem számoltuk, vagy az eredményeket nem hasonlítottuk össze a valós mért értékekkel.

A jármű egy 100 m átmérőjű körpályán halad állandó sebességgel. Az elmélet szerint a teljes átterhelődés alapvetően három paramétértől függ: oldalirányú gyorsulás, nyomtáv szélesség és súlypont magassága [7]. Az átterhelődések aránya az első és a hátsó tengely között arányos a tengelyek dőlési merevségével. A momentán centrum magassága befolyásolja a dőlési merevségét. Minél magasabb a momentán centrum annál nagyobb a dőlési merevség az adott tengelyen. [6] Amint az a 6. ábrán látható az első átterhelődés arányát (Weight transfer distribution (FRONT) [%]) növeli a tengely magasabb dőlési momentán centruma. Továbbá látható, hogy a teljes átterhelődés is megnövekedett, ennek oka a magasabb momentán centrum által megnövekedett kocsitestre ható emelő erő („jacking force”). Az emelő erő hatására magasabbra kerül a jármű tömegközéppontja, így nagyobb mértékű lesz a teljes átterhelődés.



6. ábra. Átterhelődések az állandósul állapotú konstans sugarú körpályá vizsgálaton

4. Konklúzió és további lépések

A szimulációs környezet ellenőrzése és validálása kritikus fontosságú a safety-margin kutatás megalapozásánál. A szimuláció során az elméletnek megfelelő eredményeket kaptunk, így elmondható, hogy eddig nem talákoztunk jelentős elhanyagolással. A környezet ellenőrzésének további lépései az érzékenységvizsgálat és a szimulációs eredmények összehasonlítása valós mért adatokkal.

Köszönetnyilvánítás

A cikk kutatásaihoz az Új Széchenyi Terv keretein belül az EFOP-3.6.2-16-2017-00016 számú projekt biztosított forrást. A kutatás az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg

References

- [1] Kutluay E and Winner H 2014 Validation of vehicle dynamics simulation models – a review, *Vehicle System Dynamics*, p 186-200
- [2] Sargent RG. 2010 Verification and validation of simulation models *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference* (Winter Simulation; Austin, TX)
- [3] Carson JS. 2002 Model verification and validation (Winter Simulation Conference; San Diego, CA)
- [4] Babuska I and Oden JT. Verification and validation in computational engineering and science: basic concepts.
- [5] Law AM and Kelton WD 1991 *Simulation modeling & analysis*.
- [6] Szűcs G. and Bári G. Generating MMM diagram for defining the safety margin of self-driving cars (IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 393 (2018) 012128)
- [7] Milliken WF. and Milliken DL. 1995 *Race car vehicle dynamics*. (Warrendale: Society of Automotive Engineers)