

Bírálati vélemény nyilvános védésre

PhD Jelölt neve:	Kontos János
Az értekezés címe:	Neural network-based modelling of vehicle dynamics parameters for safety-critical automotive applications
A Jelölt tudományos vezetői:	Dr. Fogarassyné dr. Vathy Ágnes Tanszékvezető, habilitált egyetemi docens Pannon Egyetem, Rendszer- és Számítástudományi Tanszék Dr. Kránicz Balázs Pannon Egyetem, Continental
Opponens:	Dr. Horváth Ernő, tudományos munkatárs Széchenyi István Egyetem Járműipari Kutatóközpont

1. A disszertáció általános értékelése

Formai szempontokat nézve, a házi védésre összeállított doktori értekezés mellékletek nélkül 102 oldal terjedelmű, 4 fő fejezetből áll. A téziseihez kapcsolódóan 14 publikációjára jelent meg, a Jelöltnek MTMT szerint a bírálókat idejekor 153 független hivatkozása van, Hirsch indexe 5. Az értekezésben összesen 97, túlnyomórészt korszerű irodalomra hivatkozik.

A disszertáció célja a járműdinamikai állapotváltozók, mint az oldal- és hosszirányú gyorsulás, vagy a perdületi sebesség predikciójára alkalmas neurális hálózati modellek fejlesztése, valamint ezek bemutatása és validálása kísérleti adatok alapján. A dolgozat különös figyelmet fordít az erőforrás-hatékony, valós idejű járműbe integrálható megoldásokra. A téma aktuális, az akadémia és az ipar oldaláról is, mind az autonóm járműrendszerek fejlesztésében, mind a menetbiztonsági rendszerek (pl. ESP, ABS) tervezésében jelentősége van.

A disszertáció négy fő részre osztható. A bevezetést követően a második fejezet a járműdinamikai adatok gyűjtésének és előfeldolgozásának módszertanát tárgyalja. Ez magában foglalja a releváns szenzorjelek és azok forrásainak azonosítását, a strukturált adatgyűjtési folyamat kialakítását, valamint az adattisztítást és normalizálást.

A harmadik fejezet a különböző neurális hálózati architektúrák fejlesztését és kiértékelését mutatja be. A modellek célja a járműdinamikai állapotváltozók, például az oldalsó és hosszirányú gyorsulás, a perdületi sebesség előrejelzése. A hálózatok mindegyike kísérleti úton rögzített adatokkal került betanításra, és különösen kis méretű és alacsony számítási igényű miatt alkalmasak beágyazott, valós idejű alkalmazásokra.

A negyedik, záró fejezet a kidolgozott modellek érzékenységvizsgálatát és általánosíthatóságát tárgyalja. A vizsgálatok során a különböző járműtípusok, terhelési viszonyok és guminyomások hatását elemezte a Jelölt a predikciós pontosság szempontjából. A függelék kiegészítő technikai információkat és az adatkészlet eredményeit, részleteit mutatja be táblázatos formában.

2. Új tudományos eredmények, tézisek bírálata

Változások a házi védésre benyújtott dolgozathoz képest

Fontosnak tartom kiemelni, hogy a Jelölt mind bírálótársam, mind saját bírálói véleményem alapján alaposan átdolgozta és tudományos értelemben sokkal jobbá tette a dolgozatot.

A Jelölt az első téziscsoportnál a bíráló vélemény alapján elfogadta, hogy az abban bemutatott eredmények inkább mérnöki jellegűek, semmint tudományos újdonságot tartalmazó eredmények, ezért ezt a téziscsoportot a disszertációból eltávolította, biztosítva ezzel a dolgozat tisztán tudományos jellegét. A mérés leírását természetesen továbbra is tartalmazza a dolgozat, hiszen ezek nagyon fontosak a tudományos tézisek szempontjából, csupán önállóan nem tézisértékűek.

A második és harmadik téziscsoportokat a Jelölt átdolgozta (ezek az új verzióban az első és a második téziscsoportként szerepelnek), hogy azok még jobban tükrözzék a pontosított kutatási célokat és világosabban bemutassák a kutatás valódi tudományos hozzájárulását.

A Jelölt a bírálók által feltett kérdéseket és megjegyzéseket részletesen megválaszolta, a válaszokat pedig beépítette a dolgozat megfelelő fejezeteibe, biztosítva ezzel a kritikai észrevételek teljes körű kezelését.

A Jelölt továbbá jelentősen átdolgozta az érzékenységi vizsgálatot (4.5.3. fejezet), hogy az eredmények értelmezése világosabb legyen.

Az értekezésben a Jelölt statisztikai elemzésekkel (páros t-próba) igazolta, hogy a vizsgált eltérések statisztikailag nem szignifikánsak.

Végezetül, a Jelölt apróbb nyelvi és formai javításokat is végzett, így javítva a disszertáció áttekinthetőségét és következetességét.

Tézis 1.1

A Jelölt egy erőforrás-hatékony, mindössze egyetlen rejtett réteggel és öt neuronnal rendelkező, optimalizált előrecsatolt neurális hálózatot fejlesztett ki, amely nagy pontossággal képes a járművek oldalirányú gyorsulásának becslésére. A hálózat kizárólag kísérleti adatok felhasználásával került tanításra, validálásra és tesztelésre, standard járműszenzorok által szolgáltatott bemenetek alapján (keréksebességek, első tengely kormányzási szöge és hosszirányú gyorsulás). A modell kiemelkedő pontosságát igazolja, hogy az elért R^2 érték meghaladja a 0,97-et, míg az átlagos abszolút hiba (MAE) mindössze 0,0172 g volt a teszt adatkészleten. A fejlesztett modell minimális számításigényének köszönhetően alkalmas arra, hogy közvetlenül járműszenzorokba vagy az elektronikus fékrendszerbe integrálva, megbízható virtuális szenzorként működjön.

A tézist a Jelölt által benyújtott disszertáció alapján új, saját eredménynek, tudományosan értékesnek fogadom el.

Tézis 1.2

A Jelölt egy optimalizált, erőforrás-hatékony Long Short-Term Memory (LSTM) neurális hálózatot fejlesztett, amely képes nagy pontossággal előre jelezni a jármű hosszirányú gyorsulását akár 100 milliszekundumos időhorizonton is, a korábbi szenzoradatok alapján. A modell pontossága kiemelkedő, amelyet az $R^2 > 0,97$ érték és a mindössze $5,30 \times 10^{-3} g$ átlagos abszolút hiba (MAE) bizonyít, még 100 milliszekundumos előrejelzés esetén is. Annak ellenére, hogy a hálózat mindössze egyetlen rejtett rétegből és öt LSTM neuronból áll, jelentősen jobb teljesítményt nyújt, mint a szakirodalomban található nagyobb architektúrájú, magasabb számítási igényű

megoldások. A modell kizárólag kísérleti adatokon került tanításra, validálásra és tesztelésre, ami biztosítja annak megbízhatóságát valós vezetési körülmények között is.

A tézist a Jelölt által benyújtott disszertáció alapján új, saját eredménynek, tudományosan értékesnek fogadom el.

Tézis 2.1

A Jelölt egy optimalizált, LSTM típusú neurális hálózatot dolgozott ki a járművek perdületi sebességének (yaw rate) előrejelzésére, akár 200 milliszekundumos időhorizonton. A modell kizárólag olyan általánosan elérhető, standard szenzorjeleket használ bemenetként (hosszirányú és oldalirányú gyorsulás, perdületi sebesség, első tengely kormányzási szöge, valamint keréksebességek), amelyek megtalálhatók a legtöbb modern jármű elektronikus fékrendszerében, így széles körűen alkalmazható járműspecifikus paraméterek nélkül. A hálózat mindössze egyetlen rejtett réteget és öt LSTM neuront tartalmaz, ennek ellenére független teszt adatkészleten kiemelkedő eredményt ért el ($R^2 = 0,9984$, MAE = 0,316 °/s), bizonyítva magas pontosságát és hatékonyságát valós idejű alkalmazásokban.

A tézist a Jelölt által benyújtott disszertáció alapján új, saját eredménynek, tudományosan értékesnek fogadom el.

Tézis 2.2

A Jelölt egy új, LSTM-alapú neurális hálózatot tervezett, tanított és validált a járművek billenési sebességének (roll rate) előrejelzésére, amely kifejezetten összetett, terepi vezetési körülményekhez optimalizált. A különböző előrejelzési időtávok vizsgálata alapján a Jelölt 40 ms-os időhorizontot választott, amely megfelelő egyensúlyt teremt a hosszabb távú előrejelzések pontosságcsökkenése és az olyan biztonságkritikus rendszerek, mint az aktív borulásvédelem (ARP), gyakorlati igényei között. A modell előrejelzései ezzel az időhorizonttal megfelelnek az ASIL B biztonsági előírásoknak. A fejlesztett hálózat mindössze egyetlen rejtett rétegből és hét LSTM neuronból áll, ennek ellenére független teszt adatkészleten robusztus teljesítményt nyújtott ($R^2 = 0,9593$, MAE = 1,107 °/s), igazolva alkalmazhatóságát terepi alkalmazásokban.

A tézist a Jelölt által benyújtott disszertáció alapján új, saját eredménynek, tudományosan értékesnek fogadom el.

Tézis 2.3

A Jelölt érzékenységvizsgálatokkal igazolta a perdületi sebességet előrejelző modell robusztusságát különböző működési változtatásokkal szemben. Vizsgálta a csökkentett guminyomás és a változó utasterhelések hatását, és megállapította, hogy ezek minimális mértékben befolyásolták az előrejelzés pontosságát, a maximális átlagos abszolút hiba (MAE) eltérései 0,5°/s alatt maradtak. Ezek a hatások agresszív vezetési körülmények között voltak leginkább észlelhetők, ugyanakkor ekkor is 0,5°/s alatt maradtak a pontossági eltérések. A Jelölt emellett a modell különböző járműtípusokra való általánosíthatóságát is vizsgálta, amely tesztek során szintén 0,5°/s alatti MAE eltéréseket mért, megállapítva, hogy különösen hibrid és elektromos járműveknél a tömegeloszlás kritikusabb tényező, mint a teljes tömeg. Az elvégzett vizsgálatok alapján a Jelölt egy gyakorlati irányelvet is megfogalmazott: a nem biztonságkritikus alkalmazásokhoz 10–15 perc változatos, dinamikus vezetési adat elegendő lehet a modell megfelelő pontosságú betanításához. Biztonságkritikus rendszerek esetében ugyanakkor a teljes rendelkezésre álló adatmennyiség felhasználása szükséges a maximális modell-robusztusság eléréséhez.

A tézist a Jelölt által benyújtott disszertáció alapján új, saját eredménynek, tudományosan értékesnek fogadom el.

4. A disszertáció összefoglaló értékelése

A Jelölt által vizsgált téma az iparban és az akadémiában is aktív kutatási területet képvisel, amely nemzetközi szinten is nagy jelentőségű. A benyújtott értekezés bírálatát a Pannon Egyetem Informatikai Tudományok Doktori Iskola elvárásait figyelembe véve készítettem. A dolgozat alapos átolvasása után világossá vált, hogy Kontos János a kutatott témakör avatott szakértője. Rálátása van a kapcsolódó eredményekre, meggyőzően elsajátította a szükséges módszereket, technikákat. Mindez bizonyítja témavezetőjének eredményes munkáját, de legalább annyira mutatja a Jelölt felkészültségét, tudományos kutatásra való alkalmasságát.

Megállapítom, hogy a dolgozat témája időszerű, felépítése arányos és logikus, stílusa jó, nyelvezete érthető, valamint a Jelölt következtetései megalapozottak. Összefoglalásként elmondható, hogy az előzőekben leírt bírálat alapján a disszertációt **nyilvános vitára alkalmasnak tartom**, és arra javaslom, annak sikeressége esetén pedig a **PhD fokozat odaítélését támogatom**.

Győr, 2025. 07. 03.



Dr. Horváth Ernő
Tudományos munkatárs
Széchenyi István Egyetem