

Opponensi vélemény

Kontos János

NEURAL NETWORK-BASED MODELING OF VEHICLE DYNAMICS PARAMETERS
FOR SAFETY-CRITICAL AUTOMOTIVE APPLICATIONS

PhD dolgozatról

Abonyi János, Veszprém, 2025. 07. 02.

A témaválasztásról

A Software-Defined Vehicle koncepció, az elektromos hajtásláncok és a fejlett vezetőtámogató rendszerek (ADAS) mind valós idejű, nagy pontosságú állapotbecslést igényelnek erősen korlátozott beágyazott hardveren. A dolgozat pontosan erre a kihívásra reagál: olyan feed-forward, illetve LSTM-architektúrákat mutat be, amelyek képesek a kulcsfontosságú dinamikai jelek becslésére/előrejelzésére, ezzel közvetlenül támogatva az ABS, ESC, AEB és ARP funkciók megbízható működését.

Tekintettel arra, hogy a járműdinamikai paraméterek (hosszirányú és oldalgyorsulás, yaw- és roll-sebesség) neurális hálózatos modellezése kifejezetten időszerű és gyakorlati relevanciával bír a választott téma jól illeszkedik a gépjármű-ipar stratégiai irányaihoz, és egyszerre képvisel elméleti (gépi tanulás) és alkalmazott (járműdinamika, funkcionális biztonság) kutatási dimenziókat, reális lehetőséget teremtve új tudományos eredmények és gyakorlati hasznosítás együttes bemutatására.

A dolgozat felépítéséről

A disszertáció jól strukturált felépítést követ.

Az 1. fejezet ismerteti a motivációt, a kutatási témaköröket és előrevetíti a fejezetek tartalmát. A 2. fejezet a mérési környezetet, a szenzor-jelek jellemzőit, a gyűjtési- és előfeldolgozási eljárást, valamint az öt nyilvános adatbázist részletezi. A 3. fejezet a gyorsulás- (FF-) modellek elméleti hátterét, hálózattervezését, hiperparaméter-hangolását és eredményeit tárgyalja, míg a 4. fejezet a yaw- és roll-sebesség LSTM-modellekre, az adatigény- és érzékenységvizsgálatokra koncentrálnak.

A dolgozatot egy összefoglalás valamint függelékek zárják.

A tematikus ív logikus: a szerző először definiálja a kutatási kérdéseket, majd bemutatja a vizsgálat alapját (adatok, változók), végül a modellezési és validációs eredményeket. Külön pozitívum, hogy a 2. fejezet önállóan, reprodukálható módon dokumentálja a mérési beállításokat, és hogy minden „módszer” alfejezetet közvetlenül követ egy „Results–Discussion–Summary” blokk, ami segíti az eredmények azonosítását.

A dolgozat angol nyelven íródott, nyelvezete megfelelő.

Tételes bírálat a tézisekről

A szerző a tudományos eredményeket két téziscsoportban fogja össze, mely tézisek egymásra épülő alpontokból állnak.

A tézisekkel kapcsolatos észrevételeim az alábbiak:

T 1.1: A szerző öt neuron egyetlen rejtett rétegbe szervezésével rendelkező feed-forward neurális hálót mutat be, amely kis mérettel (<40 paraméter) $R^2 > 0,97$ -es pontossággal becsüli az oldalgyorsulást a már meglévő szenzorjelekből. A „mini-háló” ötlete nem új, ám a szerző előnye, hogy kizárólag belső szenzorokra támaszkodik, így valóban beágyazható. A számítási lábnyom kvantifikálása (74 művelet/előrejelzés) jó érvelés. A módszer lényegében mérnöki optimalizáció; tudományos eredményként elfogadható.

T 1.2: A hosszirányú gyorsulás 0,1 s-os előrejelzésére 5 neuronból álló LSTM modellt ismertet. Hasonló vagy hosszabb előrejelzési idők több munkában megjelentek, bár gyakran 2-3× nagyobb hálóval. Az eredmény ennek tükrében elsősorban implementációs és nem modellelméleti innovációnak tekinthető, melyhez a részletes hyper-paraméter keresés és az erőforrás-igény (780 paraméter, 309 művelet) bemutatása jó ipari relevanciát ad.

A téziseket három konferencia cikk támasztja alá (bár a harmadikként említett INES konf. cikk relevanciáját nem látom)

T 2.1: A yaw-sebesség 0,2 s-os előrejelzésére vonatkozó 5 neuronnal rendelkező LSTM modellt ismerteti. A 0,9984-es R^2 valóban kiemelkedő, de a 200 ms-os horizont és a szűk (0–50 km/h) sebességsáv korlátozza a modell általános alkalmazását. Korábbi munkák már kimutatták az LSTM előnyét 0,5–1 s horizonton, így a fő hozzájárulás ebben az esetben is a modell hardver-barát mérete.

T 2.2: Az off-road roll rate modell ritkán publikált; ez valódi hiátust tölt ki. A 0–30 km/h-s tempó és csupán egy SUV-típus miatt a tézis általános relevanciája kérdéses. Célszerű lenne legalább számottevő terep-dinamikai variációt (oldal-dőlés, nagyobb lejtők) is demonstrálni.

T 2.3: A tézis a modell robusztusságával kapcsolatos eredményeket összegzi. A guminyomás-, terhelés- és karosszéria-variáció hatását kvantifikáló elemzés hasznos, módszertanában korábban bemutatott eljárásokat követ.

A tézisekben összefoglalt eredmények két Sensors (Q2) folyóiratcikkben kerültek bemutatásra.

Összességében a tézispontok az alkalmazások szempontjából értékes, implementáció-közeli hozzájárulásokat tartalmaznak. A munka tudományos újdonságértéke abban áll, hogy a szerző valós, terepi méréseken alapuló adatbázist fejlesztett, tett közzé és erre építve keresi meg az optimális hálózati konfigurációkat mind a becslési pontosság, mind a számítási igény minimalizálása szempontjából. Különösen figyelemre méltó a mindössze öt rejtett neuront tartalmazó laterális gyorsulás-becslő „virtuális szenzor”, illetve a 100 ms-ig előre tekintő LSTM-előrejelzők, amelyek teljesítménye több, erőforrás-igényesebb irodalmi módszert is felülmúl. A yaw-sebesség modellre végzett érzékenységvizsgálat (guminyomás, utasterhelés, karosszéria-variáns) és a terepjáró-specifikus roll-sebesség-előrejelzés tovább növeli a munka komplexitását és gyakorlati értékét.

A legtöbb tézis erőssége a kis erőforrás-igény, azonban a szakirodalmi baseline-ok gyakran csak egy-két példával szerepelnek, a fejlesztések a szerző saját adataira vonatkoznak, más modellstruktúrákkal (pl. az egyszerű single track modell) való összevezések hiányoznak. A tézisekben szereplő eredmények főleg 0–50 km/h-szenáriókra érvényesek, így az „éles” környezetben történő validálás is várat magára.

A dolgozat megfelel a doktori iskola publikációs követelményeinek.

A dolgozatban ismertetett eredményeket a jelölt új tudományos eredményeinek tekintem és alkalmasnak tartom arra, hogy PhD fokozat megszerzése alapjául szolgáljanak, így a dolgozat védelemre bocsátását javaslom.

Védésre javasolt kérdések:

- Mi a modellezés előnye és hátránya a klasszikus single-track és egyéb, értelmezhető paramétereket tartalmazó és így széles körben alkalmazható modellekhez viszonyítva?
- Milyen gyakorlati tesztek, milyen gyakorlati fejlesztési folyamat (lenne) szükséges akkor ha az fejlesztett modelleket szeretnénk alkalmazni?
- Amennyiben a fejlesztett modellek gyakorlati alkalmazás érdekében felmerül, miként látja az ML-Ops módszertan alkalmazhatóságát?

Veszprém, 2025. 07. 08.



Abonyi János