Digitális Állampolgárként elektronikusan aláírta:
DR. BALADINCZ PÉTER

Bírálat Palotai Balázs doktori értekezéséről

Reliable Digital Twin Operation via Surrogate-based and Online Learning-Driven Flowsheet Model Maintenance

Doktorjelölt: Palotai Balázs

A téma jelentősége és újszerűsége

Az értekezés az ipari digitális ikrek alkalmazásának egyik központi kihívásával foglalkozik: azzal, hogy a modell a változó valós üzemi körülmények között is hűen tükrözze a rendszert. Mivel a digitális ikrek és az adatvezérelt módszerek egyre szélesebb körben terjednek a vegyiparban, a téma kifejezetten aktuális. A bíráló véleménye szerint a dolgozat fő újdonsága a rendszerszemléletű keretrendszer és annak mérnöki logikára épülő felépítése. A jelölt áthidalja a folyamatmérnökség, a surrogate modellezés és az online gépi tanulás közötti módszertani elszigeteltséget, és olyan közös működési és fogalmi platformot hoz létre, amely lehetővé teszi, hogy a különböző szakterületek szakértői megértsék egymást és hatékonyan együttműködjenek.

A munka ipari jelentősége számottevő. Ahogy a jelölt rámutat, a megfelelő termeléstervezés, valamint az optimális üzemeltetési paraméterek megtalálása és javítása évente dollármilliós nagyságrendű értéket képvisel, és e döntések megbízhatósága közvetlenül azon múlik, mennyire hűen tükrözi a szimuláció az üzem aktuális állapotát. A munka végső célja éppen ennek biztosítása.

Tudományos megalapozás

A jelölt alaposan és magas színvonalon dolgozza fel a témához kapcsolódó szakirodalmat. Az értekezés 149 hivatkozásra támaszkodik, főként lektorált tudományos közleményekre és a vonatkozó szabványokra, és nagyon jó áttekintést ad a tárgyalt területekről, a fontosabb tudományos előzményeket is beleértve. Az áttekintést konkrét ipari példák teszik szemléletessé, így az elméleti eredmények szilárdan kapcsolódnak a finomítói és vegyipari üzemeltetés gyakorlati valóságához. A jelölt nem csupán összefoglalja, hanem elemző és kritikus módon dolgozza fel a szakirodalmat: áttekinti a meglévő megközelítéseket, ezekhez viszonyítja saját munkáját, és erre építve fogalmazza meg kutatási céljait és javaslatait. Így a dolgozat eredményei egyértelműen elhelyezhetők a terület aktuális tudományos állásában.

Módszertan és eredmények

Az értekezés a jelölt saját eredményeit mutatja be: a keretrendszert és annak elemeit fokozatosan építi fel, és minden lépést kísérletekkel támaszt alá. Az esettanulmányok valós ipari rendszereken, illetve a valós üzemi viselkedést hűen követő, erre a célra épített szimulációkon készültek, valós üzemi adatokkal és szimulált forgatókönyvekkel egyaránt. A kísérleti validáció így alkalmas a kitűzött célok vizsgálatára, a fejezetekhez kapcsolódó kísérletek pedig jól mutatják, hogy az egyes komponensek milyen szerepet töltenek be a teljes rendszerben.

Az alkalmazott módszerek korszerűek és jól megválasztottak. Külön elismerést érdemel az online tanulási komponens, amely a keretrendszer lelke. Ez biztosítja, hogy a flowsheet modell hosszú távon is karbantartható legyen, és folyamatosan az üzem tényleges állapotához igazodjon, ahelyett hogy időszakos, munkaigényes újrakalibrálásra szorulna. Mivel megalapozott és jól szabályozott újratanítás nélkül a surrogate modellek észrevétlenül félrevezetővé válhatnak, az online tanulási komponens a teljes keretrendszer gyakorlati megbízhatósága szempontjából kulcsfontosságú. A jelölt által fejlesztett szoftverplatform átlátható felépítésű, koherens módon követi a modelleket és azok teljesítményét az idő során, és a gyakorlatban is megvalósítja a szakterületek közötti együttműködést.

Az alkalmazott metrikák és az eredmények ábrázolása megfelelő, az eredmények összehasonlító elemzése világos: a jelölt meggyőzően magyarázza, miért vezetnek a különböző megközelítések a kapott eredményekhez. A levont következtetések következetesen adódnak a bemutatott eredményekből, a koncepció egésze szellemileg megalapozott és gyakorlatilag jól kivitelezett.

Új tudományos eredmények és publikációs tevékenység

Az értekezés alapján a jelölt tézispontjaiban négy új tudományos eredményt fogalmaz meg, amelyeket a bíráló elfogad. A jelöltnek az értekezéssel összefüggésben 15 hazai és nemzetközi megjelenése van, amelyekben első szerzőként szerepel. Ez egyszerre mutatja aktív jelenlétét a tudományos közéletben és a kutatásban betöltött vezető szerepét. A bíráló a publikációs teljesítményt a fokozatszerzéshez megfelelőnek tartja.

Formai értékelés

A dolgozat szerkezeti felépítése kiváló. A fejezetek logikusan egymásra épülnek, és az olvasót a téma átfogó megértése felé vezetik. Kiemelendő, hogy az egyes fejezetek nagyrészt önállóan is megállnak: a fejezetek elején található, a korábbi eredményeket összefoglaló bevezetők lehetővé teszik, hogy az egyes eredmények önmagukban is érthetők és értékelhetők legyenek, ami fegyelmezett tudományos írásmódra vall. A dolgozat stílusa szakmailag igényes, ugyanakkor széles tudományos olvasóközönség számára is jól követhető.

A táblázatok és ábrák általában jól szerkesztettek, világosak és informatívak. Egyes helyeken az ábrák kis mérete és az egyszerre megjelenített adatsorok sűrűsége némileg zavaró, az ábrák azonban így is értelmezhetők, és a jelölt a szövegben külön felhívja a figyelmet az értékelendő részekre. Az irodalmi hivatkozások szabályosak és következetesek, az irodalomjegyzék teljes. A dolgozat külső megjelenése megfelelő, jól formázott és jól strukturált.

További észrevételek

A javasolt rendszer jelentős erőssége, hogy következetesen követi a human-in-the-loop elvet: a modellek javaslatot tesznek, a beavatkozás és a döntéshozatal kizárólag emberi hatáskörben marad. Ez a tervezési döntés a rendszert inkább a digitális árnyék (digital shadow), mint a teljesen autonóm digitális iker paradigmájához közelíti, ám ez tudatos és indokolt választás. Veszélyes vegyipari és finomítói környezetben az emberi felügyelet fenntartása nem korlát, hanem előfeltétel, és érdemben támogatja azt a fokozatos bizalomépítést, amelyet a fejlett modellezési technikák ipari bevezetése megkövetel.

Kérdések a jelölthöz

1. Mekkora ráfordítással alkalmazható a keretrendszer egy új üzemi egységre vagy üzemre? A keretrendszer mely komponensei általánosak, és melyek igényelnek esetspecifikus adaptációt?

2. Milyen feltételek mellett látja reálisnak a jelölt, hogy a jelenlegi human-in-the-loop működésről a nagyobb autonómia, például a zárt hurkú beavatkozás felé lépjenek?

Összegzés

A bíráló a dolgozatot nyilvános vitára bocsátásra alkalmasnak tartja, és javasolja a PhD fokozat odaítélését.

Komárom, 2026. november 3.

Dr. Baladincz Péter