TANSZÉKVEZETŐ

A nyilvános vitára benyújtott Doktori értekezés bírálata

Az értekezés szerzője:
Miseta Tamás
Az értekezés címe:
Előrejelzés, szabályozás és tervezés: gépi tanulási és optimalizálási módszerek tárolóval kiegészített megújulóenergia-rendszerekhez

Bíráló: Pál Varga PhD
Cím:
Távközlési és Mesterséges Intelligencia Tanszék (BME-TMIT),
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
1117 Budapest, Magyar tudósok körútja 2., Magyarország

Bírálat

A disszertáció fontos és jól körülhatárolt kutatási területet tárgyal a gépi tanulás, az optimalizálás és a megújulóenergia-rendszerek mérnöki tudományának metszetében. A dolgozat a tárolóval kiegészített megújulóenergia-rendszerekre összpontosít, és a témát egy koherens, háromlépcsős folyamat mentén közelíti meg: másnapi villamosenergiaár-előrejelzés, akkumulátorral kiegészített megújuló erőművek kereskedési stratégiáinak optimalizálása, valamint fotovoltaikus és tárolórendszerek fizikai tervezésének optimalizálása. Ez a szerkezet világos belső logikát ad a disszertációnak, és biztosítja, hogy az egyes fejezetek egymást erősítsék.

Az értekezés módszertani kiterjedtsége különösen figyelemre méltó. A szerző nem korlátozza a munkát egyetlen modellezési paradigmára, hanem neurális hálózatokon alapuló előrejelzést, tárolást figyelembe vevő kereskedésre szabott optimalizálási algoritmusokat, valamint gyakorlati korlátok között alkalmazható, mérnöki szemléletű fotovoltaikus rendszertervezési módszertanokat kapcsol össze. Ezt a széles megközelítést jól kezeli a dolgozat, mert következetesen ugyanahhoz az alapvető problémához tér vissza: hogyan javítható együttesen az előrejelzés, a szabályozás és a tervezés a tárolóval kiegészített megújulóenergia-rendszerekben.

A bemutatott tudományos munka érett, magas minőségű és gondosan van felépítve. A kutatási célok világosan megfogalmazottak, az értekezés szerkezete áttekinthető, az új tudományos eredmények pedig úgy vannak összefoglalva, hogy az eredeti kontribúciók könnyen azonosíthatók. A szöveg egyaránt bizonyítja a gépi tanulási szakirodalom és a villamosenergia-piacok, illetve a fotovoltaikus rendszerek mérnöki kontextusának ismeretét, ami elengedhetetlen egy ilyen interdiszciplináris téma esetében.

A disszertáció jelentősége és erőssége

A dolgozat nem csupán a probléma egyetlen rétegét tárgyalja, hanem egy átfogó döntési lánc egymásra épülő szakaszait. A másnapi ár-előrejelzés az energiakereskedési döntéseket segíti, míg a kereskedési stratégia eredményességét a ténylegesen kialakított fotovoltaikus és tárolórendszer tulajdonságai is meghatározzák. Ebben az értelemben az értekezés rendszerszintű jelentőséggel bír.

A tanszéki védésen szorgalmazott, magasabb absztrakciós szintű keretezés az átdolgozott változatban már világosan megjelenik. A három pillér kapcsolata szemléletesen és következetesen kerül bemutatásra.

A disszertáció módszertani értelemben is jelentős. Új algoritmikus ötleteket javasol, például a korrelációvezérelt leállítási kritériumot, tárolóval kapcsolatos energiakereskedésre szabott optimalizálási megközelítéseket dolgoz ki, valamint olyan tervezési módszertanokat vezet be, amelyek kifejezetten figyelembe veszik a szabályozási és üzemeltetési korlátokat. Ennek eredménye nemcsak tudományosan releváns, hanem alkalmas arra is, hogy gyakorlati döntéshozatalt támogasson olyan piacokon és telepítési környezetekben, ahol a klasszikus, elkülönített megközelítések egyre kevésbé elegendőek.

A disszertáció két nagy területe különíthető el. Először is előrelépést hoz a tárolóval kiegészített megújulóenergia-rendszerek előrejelzési és szabályozási oldalán. Ezen a területen a dolgozat bevezeti a CDSC regularizációs módszert a neurális hálózatok tanításához, kidolgoz egy szisztematikus LSTM-tervezési protokollt a másnapi villamosenergiaár-előrejelzéshez, értékeli a Transformer-alapú foundation modelleket közvetlen több lépéses előrejelzésre, és két egymást kiegészítő optimalizálási módszert javasol a tárolást figyelembe vevő energiakereskedéshez, nevezetesen az OptEnT-GD és az OptEnT-DE módszereket. A másik fő rész a fotovoltaikus energiarendszerek gyakorlati korlátok közötti fizikai tervezésével kapcsolatos kontribúció. A szerző itt dolgozza ki a DSSO algoritmust a betáplálási korlátozásokkal rendelkező ipari prosumerek több stringes PV-rendszereinek fogyasztástudatos optimalizálására, valamint egy tágabb módszertant a félautonóm struktúrákhoz, amely sztochasztikus fogyasztásbecslésen, kapcsolt termikus-elektromos modellezésen és közös PV-tároló optimalizáláson alapul. Ezek a kontribúciók együtt azt mutatják, hogy a szerzőt nem pusztán az izolált előrejelzési pontosság érdekli, hanem a teljes lánc az előrejelzéstől az üzemeltetésen át a fizikai tervezésig.

A disszertáció első konkrét erőssége a módszertani kontribúciók eredetisége és világossága. A CDSC jó példa erre: nem egyszerűen egy meglévő gépi tanulási architektúra újabb alkalmazása, hanem fogalmilag elkülönülő tanítási regularizációs ötlet, amely a tanítási és validációs veszteségek gördülő korrelációja alapján célozza a túlillesztés felismerését. Még ha a kvantitatív javulások mérsékeltek is, a kontribúció tudományosan értékes, mert a neurális hálózatok tanításának általános módszertani problémáját kezeli, nem csupán egyetlen alkalmazási esetet.

A módszertani eredetiség mellett további egyértelmű erősség a kvantitatív és összehasonlító szemlélet. A szerző az előrejelzést több, eltérő sajátosságú villamosenergia-piacon vizsgálja, a HUPX, az EPEX SPOT, a NEMS és az N2EX piacok adataival, és a kereskedési módszereket számos rendszerkonfiguráción teszteli.

Az átdolgozott változat különösen értékes kiegészítése, hogy a Transformer-alapú alapmodelleket már szezonális naiv, LEAR és N-BEATS referenciákhoz is viszonyítja, és a 2025-ös, a modellválasztástól elkülönített tesztévvel is ellenőrzi az eredmények tartósságát. Ez a korábbinál szélesebb összehasonlítás meggyőzőbb alapot teremt az előrejelzési következtetésekhez.

A munka gyakorlati mérnöki relevanciája szintén figyelemre méltó. A disszertáció az algoritmikus eredményeket ismételten értelmezhető üzemeltetési felismerésekké fordítja le. Ilyen például az akkumulátor-inverter arány azonosítása az elérhető kereskedési profit egyik fő meghatározójaként, annak bemutatása, hogy a DSSO a hagyományos tervezési szabályhoz képest lényegesen kisebb rendszerek alkalmazása mellett is képes csökkenteni a hálózati fogyasztást és a kibocsátásokat, valamint az a megállapítás, hogy a túlméretezett panelezés rendszerszintű optimalizálás nélkül jelentős visszaterhelt vagy le nem használt energiához vezethet. Ezek nem pusztán absztrakt modellkimenetek, hanem gyakorlati jelentőséggel bíró eredmények üzemeltetők és rendszertervezők számára.

Távközlési és Mesterséges Intelligencia Tanszék
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

1117 Budapest, Magyar tudósok krt. 2.
Tel.: +36 1 463 2401 – Web: http://www.tmit.bme.hu
E-mail: pvarga@tmit.bme.hu

A tanszéki védésen megfogalmazott javaslatok megvalósítása

A kutatási pillérek egységes keretezése:

A korábbi változatban kevésbé hangsúlyosan megjelenő előrejelzés - kereskedési optimalizálás - fizikai tervezés kapcsolatát a szerző az átdolgozott disszertációban önálló összefoglaló ábrával (1.1. ábra), pontosított célkitűzésekkel és a következtetésekben is visszatérő rendszerszintű magyarázattal erősítette meg. Ezt a módosítást teljes mértékben elfogadom.

Az előrejelzési összehasonlítás bővítése:

A korábban hiányolt hagyományos referenciaeljárások közül a szezonális naiv becslés és a LEAR, továbbá az N-BEATS is bekerült a vizsgálatba. A szerző a foundation modellek eredményeit immár ezekhez is viszonyítja, és Diebold-Mariano-próbákkal, illetve Model Confidence Set elemzéssel is alátámasztja az összehasonlítást. A 2025-ös, függetlenül kezelt tesztév külön értékes robusztussági ellenőrzés; az erre irányuló módosítási javaslatot elfogadom.

A CDSC alkalmazhatóságának pontosítása:

A módszer értékelése többféle neurális architektúrát és különböző típusú referenciafeladatokat érint, köztük aranyárváltozás-előrejelzést is. A szerző a következtetésekben már világosan megkülönbözteti a CDSC általános módszertani ötletét a konkrét paraméterbeállítások feladatfüggőségétől. Az általánosíthatóságra vonatkozó észrevétel kezelését megfelelőnek tartom.

A kereskedési optimalizálók feltételeinek tisztázása:

Az OptEnT-GD esetében részletesebben megjelenik a kezdeti monotonitás érvényességi tartománya, valamint az akkumulátor-degradáció, a tranzakciós költségek és a nemlineáris üzemeltetési veszteségek lehetséges hatása. Az OptEnT-DE-ről a szerző kifejezetten megadja a száz ismételt futás között tapasztalt, mintegy 25-30%-os legjobb-legrosszabb eredménykülönbséget, és elhatárolja a módszer várható teljesítményét az egyetlen futásra vonatkozó garanciától. E pontosításokat elfogadom.

A DSSO eredményeinek megfelelő körülhatárolása:

A szerző egyértelművé tette, hogy a DSSO kimutatott előnye a vizsgált szokásos mérnöki méretezési szabályokkal - elsősorban az SYCM és az elvesző energiára épülő megoldással - szemben igazolt. A HOMER, PVSyst, MILP és metaheurisztikus alternatívákkal való versenyképességét nem állítja bizonyítottnak, hanem a későbbi összehasonlító kutatások körébe utalja. Az eredmények ilyen értelmezését és a módosítást elfogadom.

A vizsgálati környezetek és az általánosíthatóság tisztázása:

Az ipari fogyasztóra és az úszóházra épülő tervezési esettanulmányok alkalmazhatósági határait az új változat világosabban ismerteti. Az előrejelzésnél a szerző elkülöníti az általánosítható módszertani elemeket - például a CDSC tanításfelügyeleti elvét és a kontextusablak hangolását - a villamosenergia-piacokhoz kötött modellezési döntésektől. A többi idősordomén felé történő kiterjesztés kérdését megfelelően elhelyezi a további kutatások között.

Az integrált rendszer státuszának pontosítása:

A disszertáció immár különösen érthetően rögzíti, hogy a három kutatási pillér egy lehetséges, teljes munkafolyamatot lefedő döntéstámogató rendszer építőeleme, de a közös, összekapcsolt validáció még jövőbeli feladat. Ez a pontosabb megfogalmazás megszünteti az integráció készültségi fokával kapcsolatos korábbi félreérthetőséget.

Távközlési és Mesterséges Intelligencia Tanszék
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

1117 Budapest, Magyar tudósok krt. 2.
Tel.: +36 1 463 2401 – Web: http://www.tmit.bme.hu
E-mail: pvarga@tmit.bme.hu

További kutatási irányok

A korábban hiányosságként jelzett nyitott módszertani kérdéseket az átdolgozott disszertáció megfelelően azonosítja, és ezeket jövőbeli kutatási feladatoknak tekintem. Ilyen az OptEnT-GD eredményeinek vizsgálata az akkumulátordegradációt, összetettebb tarifákat és tranzakciós költségeket is tartalmazó modellekben, valamint az OptEnT-DE futások közötti szórásának további csökkentése. Ezek a felvetések a bemutatott eredmények érvényességi tartományának bővítését célozzák, azaz nem kérdőjelezik meg a már igazolt tudományos eredményeket.

További kutatási lehetőségnek tekinthetjük a tanszéki védés diszkusszió részében tárgyalt dolgokat, például a DSSO szisztematikus összevetését korszerű optimalizálási keretrendszerekkel, a méretezési módszerek kipróbálását több ipari terhelési profilon és a CDSC, illetve az idősoros alapmodellek alkalmazását további piaci vagy pénzügyi adatsorokon. Az új előrejelzési referenciaeljárások beépítését megfelelő válasznak tartom a tanszéki védésre készült bírálatom vonatkozó észrevételére; a további módszerek bevonása már a kutatás természetes folytatása lehet.

Végül fontos hosszabb távú cél a három pillér közös esettanulmányban történő összekapcsolása, amelyben az előrejelzési bizonytalanság, a kereskedési döntések és a rendszer fizikai méretezése együttesen értékelhető. A szerző ezt nem kész eredményként, hanem jövőbeli fejlesztési irányként mutatja be. Ezt a megközelítést korrektnek tartom, tehát ez a nyilvános védésre benyújtott munka elfogadását nem befolyásolja.

Kérdések a szerzőhöz

1) Az átdolgozott disszertáció már szélesebb körű előrejelzési összehasonlítást és külön 2025-ös tesztévet tartalmaz. A tapasztalatok alapján melyik tanulságot tartja leginkább általánosíthatónak: a modellcsalád megválasztásának, az előzményablak hosszának vagy a tanítás leállítási stratégiájának szerepét?
2) A CDSC-t többféle feladaton, köztük aranyárváltozás-előrejelzésen is vizsgálta. Ha egy más jellegű, időben változó pénzügyi adatsorra kellene átültetnie a módszert, milyen validációs eljárást és milyen egyszerű diagnosztikát választana annak eldöntésére, hogy a CDSC valóban előnyt jelent-e a hagyományos korai leállításhoz képest?
3) Az OptEnT-GD és az OptEnT-DE egymást kiegészítő megoldások. Elképzelhetőnek tart-e olyan automatikus döntési mechanizmust, amely a célfüggvény mérhető tulajdonságai alapján választana köztük? Milyen jellemzők lennének erre a legalkalmasabbak, és hogyan értékelné a választás megbízhatóságát?

Összegző értékelés

Az tanszéki vitán bemutatott munka is jelentős volt - ezt az átdolgozott disszertációt pedig kifejezetten erős és értékes doktori munkának tartom. Időszerű, tudományosan és mérnöki szempontból egyaránt fontos problémakört tárgyal, eredeti módszertani hozzájárulásokat nyújt, és számottevő összehasonlító eredményeket mutat be az előrejelzés, az energiakereskedési optimalizálás és a megújulóenergia-rendszerek tervezése terén. A tanszéki védést követő módosítások különösen a közös kutatási keret bemutatását, az előrejelzési referencia-összehasonlítások mélységét, az eredmények robusztusságának ellenőrzését, valamint az alkalmazhatósági határok pontos megfogalmazását erősítették meg.

Távközlési és Mesterséges Intelligencia Tanszék
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

1117 Budapest, Magyar tudósok krt. 2.
Tel.: +36 1 463 2401 – Web: http://www.tmit.bme.hu
E-mail: pvarga@tmit.bme.hu

TANSZÉKVEZETŐ

A korábbi bírálatban megfogalmazott észrevételekre a jelölt érdemi, szakmailag meggyőző választ adott. A módszertani és szerkesztési kiegészítéseket, továbbá a korábban túl általánosan megfogalmazott következtetések pontosítását elfogadom. Azokat a kérdéseket, amelyekhez további kísérletek vagy új rendszerkonfigurációk szükségesek - így a gazdagabb kereskedési modelleket, a további DSSO-összehasonlításokat és a három pillér integrált validációját -, a munka természetes jövőbeli kutatási irányainak tekintem, nem a jelen értekezés hiányosságainak.

Véleményem szerint a disszertáció megfelel a doktori értekezéssel szemben támasztott tudományos követelményeknek. A szerző önálló kutatói felkészültségről, módszertani sokoldalúságról és következetes mérnöki szemléletről tett tanúbizonyságot. A nyilvános védésre benyújtott változatot a tanszéki védéshez képest egyértelműen megerősített, gondosan átdolgozott munkának értékelem.

A tanszéki védésen felvetett módosítási javaslatok teljesítését mind elfogadom.

Miseta Tamás doktori értekezésének elfogadását támogatom.

Budapest, 2026. november 13.

Digitally signed by Dr. Varga Pál
Date: 2026.11.13 22:31:44 +01'00'

Varga Pál, PhD

Távközlési és Mesterséges Intelligencia Tanszék
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

1117 Budapest, Magyar tudósok krt. 2.
Tel.: +36 1 463 2401 – Web: http://www.tmit.bme.hu
E-mail: pvarga@tmit.bme.hu