Válasz

Dr. Varga Pál Docens Úr

„Prediction, Control, and Design: Machine Learning and Optimisation Methods for Battery-Enhanced Renewable Energy Systems"

című PhD értekezéshez írt

bírálói véleményére

Mindenekelőtt szeretném őszinte köszönetemet kifejezni Dr. Varga Pál Docens Úrnak azért a figyelemért és alaposságért, amellyel értekezésemet a tanszéki védés után ismét elolvasta és értékelte. Javaslatai nyomán a dolgozat kerete, az előrejelzési összehasonlítás és az eredmények érvényességi határai érdemben pontosabbá váltak. Hálásan köszönöm, hogy a módosításokat elfogadta, és támogatta az értekezés elfogadását. A megnevezett további kutatási irányokkal egyetértek. A feltett kérdésekre az alábbiakban igyekszem válaszolni.

1. kérdés. *„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?"*

Válasz. Köszönöm a kérdést. A kérdésben megnevezett három tényező közül a másnapi villamosenergia-piacokon belül a modellcsalád megválasztását tartom a leginkább általánosíthatónak, de mindegyikből más-más vihető át.

A modellcsalád megválasztása hatott a legerősebben és a legtartósabban. A legjobb Transformer-alapú alapmodell mind a hat vizsgált piac–horizont konfigurációban pontosabb volt az optimalizált LSTM-nél (18,4–40,8%-kal kisebb teszthiba), és a szezonális naiv, a LEAR és az N-BEATS referenciáknál is. Az előny a 2025-ös, a modellválasztástól elkülönített tesztévben is megmaradt. Általánosítható tehát, hogy ha csak a múltbeli árak állnak rendelkezésre, idősoros alapmodellel érdemes kezdeni. Az alapmodellek egymás közötti sorrendjét azonban más idősordoménen újra meg kell határozni. Az előny egy része abból származik, hogy az alapmodellek az előtanítás során nagy és sokféle idősoros adathalmazon jóval több információhoz jutottak, mint az egyváltozós LSTM.

A tanítás leállítási stratégiájának elvét vizsgáltam a legszélesebb körben. A korrelációvezérelt leállítási kritériumot négy referenciafeladaton, köztük aranyárváltozás-előrejelzésen, és három neurális architektúrán vizsgáltam, és legjobb beállításával mindegyiken jobb volt a hagyományos korai leállításnál. Az előny a német és a szingapúri piac hosszabb horizontján mindkét tesztévben szignifikáns volt, rövid horizonton viszont a korai leállítás egyenértékű vagy jobb lehet. Az elv tehát általánosítható, a paraméterek viszont feladatfüggők.

Az előzményablak hosszánál az eljárás általánosítható, nem az érték. Legfeljebb 2048 időlépéses keresési tartományban az LSTM-eknél a TPE-alapú hiperparaméter-optimalizálás nagyjából 1–10 napos előzményablakot választott ki. Az alapmodelleknél a rácskeresés közel azonos tartományban 8–85 napos ablakot talált optimálisnak. Egyetemes ablakhossz tehát nem adható meg, az előzményablakot minden modellre és piacra külön kell hangolni, a keresési tartományt naptári időben megadva.

2. kérdés. *„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?"*

Válasz. Köszönöm a kérdést. Validációs eljárásként a valódi működéshez legközelebbi időrendi tréning-validáció felbontást választanék embargó periódusokkal, egyszerű diagnosztikaként pedig a tanítási és validációs veszteségek gördülő korrelációját.

Az I.1 referenciavizsgálatban, az aranyárváltozás-előrejelzést is beleértve, 50 véletlen felosztást használtam, és a legjobb paraméterbeállítást visszamenőleg, a teszthiba alapján azonosítottam, így az ott közölt javulás nem mintán kívüli becslés. Pénzügyi adatsoron ezért a több piacot átfogó LSTM-vizsgálat eljárását követném. Ehhez egyetlen validációs időszakot vagy évenkénti keresztvalidációt (leave-one-year-out) alkalmaznék, a tanítási és a validációs halmaz határain előzményablak és horizont szélességű embargózónával. A két leállítási kritériumot azonos hiperparaméter-optimalizálási keretben hangolnám, és Diebold-Mariano-próbával hasonlítanám össze a modellválasztástól elkülönített tesztidőszakon.

A diagnosztikához elegendő egy, a túlillesztés kezdetén jóval túlnyúló tanítás. Ha a gördülő korreláció kezdetben magas, és a túlillesztés kezdetén egyértelműen csökken, a CDSC alkalmazásának feltétele teljesül. Ha kezdettől alacsony és zajos, előbb a feladat megfogalmazását, a modell vagy a tanítás beállításait kell felülvizsgálni, és negatív küszöbértékkel is számolni kell, ahogy az aranyárváltozás-előrejelzésnél. Az epochnaplóból mindkét leállítási kritérium újratanítás nélkül szimulálható, a paraméterek pedig a validációs hiba, nem a teszthiba alapján választhatók ki. Előnyt akkor tekintenék igazoltnak, ha a különbség a tesztidőszakon szignifikáns, és egy későbbi, elkülönített időszakon is megmarad.

3. kérdés. *„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?”*

Válasz. Köszönöm a kérdést. Igen, elképzelhetőnek tartom. A döntés alapja az lehet, hogy teljesül-e az OptEnT-GD kezdeti monotonitási feltevése, hiszen az OptEnT-DE éppen arra az esetre készült, amikor ez a feltevés nem teljesül.

Három jellemzőt tartanék a legalkalmasabbnak. Az első a kezdeti monotonitás közvetlen ellenőrzése: néhány mintavételezett tranzakció nagyságát nulláról fokozatosan növelve megvizsgálnám, hogy a profit első helyi maximuma egyben a legnagyobb-e. A második a célfüggvény előre ismert szerkezete, mert az akkumulátor-degradáció, a tranzakciós költségek és az összetettebb tarifák megtörhetik a monotonitást. A harmadik egy rövid, az OptEnT-GD eredményéből indított OptEnT-DE futás: ha érdemben javít az eredményen, az a váltás mellett szól.

A választás megbízhatóságát a meglévő eredményeken nem lehet értékelni, mert a közölt összehasonlításban az OptEnT-GD adta a nagyobb profitot. Ezért degradációs és tranzakciós költségtagokkal bővített célfüggvényeken határoznám meg, melyik módszer a jobb, majd elkülönített napokon mérném, milyen arányban választ helyesen a mechanizmus, és mekkora profitveszteséget okoz ahhoz képest, ha mindig az utólag jobbnak bizonyult módszert választanánk.

Még egyszer köszönöm alapos munkáját és támogató szavait.

Tisztelettel:

Miseta Tamás

Miseta Tamás

Veszprém, 2026. november 16.