

Posudok na habilitačnú prácu

Ing. Milan Straka, PhD.

Aplikácie dátovej vedy pre inteligentné nabíjanie elektrických vozidiel

Odbor habilitačného konania

Aplikovaná informatika

Žilinská univerzita v Žiline

Fakulta riadenia a informatiky

Katedra matematických metód a operačnej analýzy

2025

Habilitačná práca sa zameriava na aplikácie dátovej vedy pre inteligentné nabíjanie elektrických vozidiel, pričom jej hlavný cieľ je dátovo-riadená podpora nabíjania s dôrazom na predikčné prístupy. Autor danú problematiku nerozoberá iba z hľadiska informatiky, ale vo významnej miere aj z hľadiska štatistiky a optimalizácie. Práca má technologický, ekonomický aj spoločenský dopad, pretože rieši kľúčové problémy pri masovom rozšírení elektromobilov.

Práca je koncipovaná ako séria štyroch článkov, resp. príspevkov so zjednocujúcim komentárom. Prácu môžeme rozdeliť na teoretickú a praktickú časť. Prvé dve kapitoly reprezentujú prevažne teoretickú časť práce. Posledné tri tvoria praktickú časť práce.

V prvej časti sa autor zameriava na teoretické východiská a analýzu súčasného stavu. V prvej kapitole autor vysvetľuje základné princípy strojového učenia, vrátane učenia s učiteľom, pretrénovania, krížovej validácie, stratových funkcií a vyhodnocovania presnosti modelov. Rozoberá vybrané regresné metódy (lineárnu regresiu, regularizovanú lineárnu regresiu, regresné stromy a neurónové siete). Spomína aj prístupy k učeniu bez učiteľa, konkrétne metódu hlavných komponentov. Sice táto časť práce zapadá do celkového kontextu práce, hlavne z hľadiska použitých metód, avšak prvá kapitola, zameraná na základné teoretické východiská, pôsobí nadbytočne. Naopak, v rámci teoretickej časti práce by som vyzdvihol druhú kapitolu zameranú už výlučne na analýzu súčasného stavu v oblasti inteligentného nabíjania elektromobilov, jeho kategorizáciu (smart grid, agregátori, vodiči) a optimalizačné

ciele (maximalizácia zisku, minimalizácia nákladov, vyrovňovanie záťaže siete). Autor rozoberá mieru akceptácie inteligentného nabíjania zo strany vodičov. Predstavuje dátovo orientované prístupy v elektromobilite, najmä predikčné metódy, používané datasety, pričom sa hlavne zameriava na predikciu agregovanej spotreby elektronického vozidla a doby trvania pripojenia k nabíjacej stanici.

Prečo považujete metódu hlavných komponentov za metódu strojového učenia?

Nie je PCA skôr deterministická lineárna transformácia založená na štatistických princípoch (výpočet vlastných hodnôt a vektorov kovariančnej matice)?

Kde PCA stojí v rámci dátovej analýzy a ML pipeline?

Druhá časť práce predstavuje najvýznamnejší príspevok autora k problematike inteligentného nabíjania elektromobilov a predikcií spotreby energie. Tieto kapitoly prepájajú predikčné metódy s optimalizačnými cieľmi a prinášajú nové prístupy k integrácii predpovedí do riadiacich algoritmov inteligentného nabíjania elektromobilov. V tretej kapitole autor koncipuje ciele a metodiku práce. Autor formuluje hlavný cieľ ako návrh predikčných prístupov relevantných pre inteligentné nabíjanie elektrických vozidiel a zároveň vytvorenie rámca pre ich hodnotenie z energetického ako aj ekonomického hľadiska. Pozitívne hodnotím, že významná časť validácie je postavená na tom, že predikčné výstupy sa integrujú do jednoduchých, ale realistických riadiacich schém a potom sa kvantifikujú prínosy cez energetické a ekonomické ukazovatele, nielen cez chybu predikcie, pričom autor všetko stavia na rozsiahlych reálnych dátach EVnetNL. Štvrtá kapitola habilitačnej práce predstavuje jadro autorovho príspevku v oblasti predikčných modelov pre inteligentné nabíjanie elektrických vozidiel. Autor poukazuje, že samotná presnosť predikcie nemusí postačovať, a preto rozvíja tri komplementárne prístupy a) hierarchické pravdepodobnostné predpovede spotreby nabíjania, ktoré kvantifikujú neistotu a využívajú informácie z nižších úrovní agregácie na zlepšenie predikcií vyššej úrovne (APPLIED ENERGY, Elsevier, 2021IF - Q1, 2021AIS - Q1); b) nákladovo-citlivé (nesymetrické) učenie pri predikcii doby pripojenia, kde tvar stratovej funkcie zosúladí model s prevádzkovými cieľmi inteligentného nabíjania (napr. presun mimo špičky vs. spoľahlivosť dodania) (INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL POWER & ENERGY SYSTEMS, Elsevier, 2022IF - Q1, 2022AIS - Q2); a c) rámec priebežnej, asynchrónnej aktualizácie predikcií doby pripojenia počas prebiehajúcej udalosti, ktorý zvyšuje operačnú použiteľnosť predikcií v reálnom čase (SPLITECH, IEEE, Scopus). Dôležitým prínosom kapitoly je aj systematické hodnotenie predikcií nielen

pomocou výkonnostných metrík, ale aj cez energetické a ekonomické ukazovatele, čím sa transparentne kvantifikujú prínosy predikcií pre riadenie nabíjania. Piata kapitola habilitačnej práce demonštruje aplikáciu dátovej vedy v inteligentnom nabíjaní prostredníctvom dátovo riadeného rámca na cielený nábor vodičov elektrických vozidiel do inteligentného nabíjania (TRANSPORTATION RESEARCH PROCEDIA, Elsevier, 2023SJR - 0,384). Kapitola tak poskytuje transparentný a prenosný rámec pre rozhodovanie prevádzkovateľov o tom, koho a ako prioritizovať v kampaniach na škálovanie inteligentného nabíjania.

Metodika práce je postavená na časovo konzistentnom delení (train/validation/test) a na praktickej validácii predikcií v riadiacich schémach (ToU/UP), čo je pre časovo závislé dáta vhodné. Pri porovnávaní modelov by však bolo možné ešte posilniť robustnosť záverov použitím krížovej validácie pre časové rady (time-series/rolling/forward-chaining), ktorá poskytuje viacnásobné hodnotenia na nezávislých (testovacích) dátach (out-of-sample) bez porušenia časovej kauzality. Analogicky by bolo prínosné doplniť intervaly spoľahlivosti rozdielov výkonu medzi modelmi pomocou resamplingových techník rešpektujúcich závislosť v dátach (block bootstrap, resp. resampling po entitách – vodičoch/staniciach). Takéto doplnenie by znížilo citlivosť výsledkov na jedno testovacie obdobie a umožnilo štatisticky podloženejšie porovnanie modelov a stratégií.

Pravdepodobne ste používali k-násobnú krížovú validáciu na ladenie niektorých hyperparametrov, používali ste ju aj na vyhodnotenie výsledkov – správnosti predikcie, v zmysle opakovaných testov na budúcich blokoch pri postupne rastúcom tréningu?

Práca je prehľadná a dobre čitateľná. Autor citoval viac ako 140 zdrojov, čo svedčí o dobrom zorientovaní sa v danej problematike. Oceňujem, že jednotlivé experimenty boli odpublikované vo vedeckých časopisoch a zborníkoch z konferencií zameraných práve na predmetnú problematiku.

Pri posúdení celkového tvorivého prínosu autora habilitačnej práce primárne k problematike dátovo-riadenej podpore nabíjania a prediktívneho modelovania pozitívne hodnotím výsledky habilitačnej práce ako aj publikované výsledky z hľadiska ich originálnej, vedeckej a interdisciplinárnej hodnoty.

Zvolená téma práce je aktuálna, získané výsledky sú originálne i vedecky podložené. Práca jednoznačne rozvíja interdisciplinárne prepojenie informatiky, štatistiky a optimalizácie tým, že kombinuje ML postupy s pravdepodobnostným a nákladovo-citlivým štatistickým modelovaním a s optimalizačne orientovaným hodnotením a integráciou predikcií do riadenia inteligentného nabíjania.

Habilitačná práca spĺňa požiadavky kladené na habilitačnú prácu v odbore Aplikovaná informatika. Na základe vyššie uvedeného odporúčam prijať predloženú habilitačnú prácu k obhajobe pred vedeckou radou Fakulty riadenia a informatiky ŽU v Žiline a po jej úspešnom obhájení navrhujem Ing. Milanovi Strakovi, PhD. udeliť vedecko-pedagogický titul docent (doc.) v odbore Aplikovaná informatika.

V Nitre 17. 12. 2025

prof. RNDr. Michal Munk, PhD.
Katedra informatiky
Fakulta prírodných vied a informatiky
Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre